



TESIS - RE185401

**MODEL PENETAPAN RUANG TERBUKA
HIJAU UNTUK PENGENDALIAN KARBON
DIOKSIDA UDARA AMBIEN DI KAWASAN
INDUSTRI PETROKIMIA**

AISYAH AHMAD
NRP 03211750010013

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.
NIP 19650508 199303 1 001

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS - RE185401

MODEL PENETAPAN RUANG TERBUKA HIJAU UNTUK PENGENDALIAN KARBON DIOKSIDA UDARA AMBIEN DI KAWASAN INDUSTRI PETROKIMIA

AISYAH AHMAD
NRP 03211750010013

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.
NIP 19650508 199303 1 001

PROGRAM MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



THESIS - RE185401

**DETERMINATION OF GREEN SPACE
MODEL FOR CARBON DIOXIDE CONTROL
OF AMBIENT AIR IN PETROCHEMICAL
INDUSTRIAL AREA**

AISYAH AHMAD
NRP 03211750010013

SUPERVISOR
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.
NIP 19650508 199303 1 001

MASTER PROGRAM OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL, AND GEO ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Aisyah Ahmad

NRP 03211750010013

Tanggal Ujian: 15 Januari 2019


Periode Wisuda: Maret 2019

Disetujui oleh:


1. **Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.**

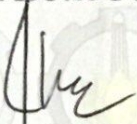
(Pembimbing)

NIP: 19650508 199303 1 001


2. **Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs**

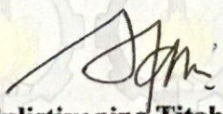
(Penguji)

NIP: 19540824 198403 1 001


3. **Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D**

(Penguji)

NIP: 19711114 200312 2 001


4. **Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., Ph.D**

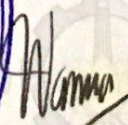
(Penguji)

NIP: 19750523 200212 2 001



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan


Ida A Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D

NIP. 19750212 199903 2 001

MODEL PENETAPAN RUANG TERBUKA HIJAU UNTUK PENGENDALIAN KARBON DIOKSIDA UDARA AMBIEN DI KAWASAN INDUSTRI PETROKIMIA

Nama Mahasiswa : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRAK

Aktivitas industri merupakan penyumbang terbesar kedua emisi karbon dioksida di udara ambien. Salah satu dari beberapa industri yang mengemisi karbon dioksida yaitu industri petrokimia. Beberapa penelitian terdahulu menyimpulkan bahwa proses fotosintesis oleh vegetasi mampu menyerap karbon dioksida dari udara ambien. Vegetasi merupakan komponen dari ruang terbuka hijau di kawasan industri petrokimia. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengkaji reduksi karbon dioksida udara ambien oleh vegetasi di ruang terbuka hijau di kawasan industri petrokimia. Manfaat dari model yang dihasilkan adalah sebagai penataan ruang kawasan industri petrokimia mendatang, terutama untuk penetapan ruang terbuka hijau di kawasan industri petrokimia.

Lokasi penelitian ini adalah kawasan industri petrokimia di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Jumlah populasi (box) dan lokasi observasi (box sampel) ditetapkan berdasarkan luas kawasan industri dan kecepatan angin rata-rata. Nilai kumulatif konsentrasi karbon dioksida digunakan sebagai indikator nilai reduksi karbon dioksida udara ambien. Variabel utama dari penelitian ini adalah reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO_2), penggunaan lahan (LU), konsentrasi karbon dioksida (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS). Data pengukuran konsentrasi karbon dioksida seri waktu selama 12 jam dengan selang waktu 1 jam untuk mendapatkan nilai Net_CO_2 . *Structural Equation Modeling* (SEM) digunakan pada penelitian ini untuk menganalisis hubungan antar variabel dan parameter. Observasi konstruksi model dilakukan pada 25 lokasi sampling selama lima hari kerja, dan obeservasi untuk *testing model* dilakukan pada minggu berikutnya.

Hasil dari penelitian ini adalah model matematis penetapan ruang terbuka hijau untuk mereduksi karbon dioksida udara ambien di kawasan industri petrokimia. Model ruang terbuka hijau untuk reduksi CO_2 udara ambien di kawasan industri petrokimia adalah $P = -0,113 - \text{NetCO}_2 + 0,0576 \text{ Lnrth} + 0,0686 \text{ Lp} - 0,683 \text{ Cmax} + 1,592 \text{ Cave}$.

Kata kunci: *box model*; karbon dioksida (CO_2); pencemaran udara; ruang terbuka hijau (RTH); *structural equation modeling* (SEM).

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINATION OF GREEN SPACE MODEL FOR CARBON DIOXIDE CONTROL OF AMBIENT AIR IN PETROCHEMICAL INDUSTRIAL AREA

By : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Supervisor : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRACT

Industrial activity is the second largest contributor of carbon dioxide emission in ambient air. One of the few industries that emit carbon dioxide emission is petrochemical industry. Some earlier research concluded that photosynthesis process by the vegetation capable to reduce carbon dioxide from ambient air. The vegetation is a component of the green space in petrochemical industrial area. The main focus of this research is to analyze reduction of carbon dioxide by the green space in petrochemical industrial area. The benefits of the model is as an upcoming settlement plan in petrochemical industrial area, especially the green space determination.

The location of this research is petrochemical industrial area in Gresik Regency of East Java. Numbers of population (box) and the observation location (sample box) are assigned based on the wide of industrial area and average wind speed. The value of cumulative concentration of carbon dioxide can be used as an indicator of the carbon dioxide reduction process. The main variable of this research is the reduction of carbon dioxide (Net_CO₂), land use (LU), carbon dioxide concentration (C), and the fraction of green space (GS). Data measurements of carbon dioxide concentration time series for 12 hours with an interval of 1 hour to get the value of Net_CO₂. Structural Equation Modelling (SEM) used in this research to analyze the correlation between variables and parameters. Observations made in 25 sampling location during five working days as builders construct model, and observations during five working days on the following week as testing model.

The result of this research is mathematical model of green space determination for reduce carbon dioxide ambient air in petrochemical industrial area. Model of green space for reduce carbon dioxide ambient air in petrochemical industrial area is $P = -0,113 - \text{NetCO}_2 + 0,0576 \text{ Lnrth} + 0,0686 \text{ Lp} - 0,683 \text{ Cmax} + 1,592 \text{ Cave}$.

Key words: air pollution; box model; green space; carbon dioxide (CO₂); structural equation modelling (SEM).

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau untuk Pengendalian Karbon Dioksida Udara Ambien di Kawasan Industri Petrokimia**”. Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan program Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penyusunan tesis ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D., Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., Ph.D., selaku dosen pengarah, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan.
3. Departemen Lingkungan dan K3 PT Petrokimia Gresik atas kerjasama selama penelitian berlangsung.

Rasa hormat dan terima kasih penulis sampaikan kepada orang tua penulis, abi Drs. H. Ahmad Saidil Ahmadi, M.Pd, dan umi Ir. Hj. Kudrotukah, M.Si, atas doa, motivasi, bimbingan serta materi yang telah diberikan tak terhingga kepada penulis hingga detik ini. Penulis menyadari penulisan tesis ini tidak luput dari kekurangan. Penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi bidang Teknik Lingkungan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Karbon Dioksida (CO₂)</i>	5
2.1.1 Sifat Karbon Dioksida (CO ₂)	6
2.1.2 Konsentrasi CO ₂ di Udara Ambien	6
2.1.3 CO ₂ Sebagai Indikator Kualitas Udara	7
2.2 CO ₂ di Kawasan Industri	8
2.2.1 Emisi CO ₂ dari Penggunaan Energi	10
2.2.2 Emisi CO ₂ dari Proses Produksi	11
2.2.3 Emisi CO ₂ dari Limbah Industri	11
2.3 Gas Rumah Kaca	11
2.4 Ruang Terbuka Hijau	13
2.4.1 Mekanisme Penyerapan CO ₂ oleh Tumbuhan	15

2.4.2	Karakteristik Tanaman pada RTH.....	17
2.5	Pengaruh Angin terhadap Konsentrasi CO ₂	18
2.6	Konsep <i>Box Model</i> untuk Analisis Perubahan Massa CO ₂	20
2.7	Analisis Nilai Kumulatif CO ₂ Udara Ambien.....	21
2.8	Nilai Kumulatif CO ₂ untuk Skala Mikro dan Meso.....	23
2.8.1	Net_CO ₂ Skala Mikro.....	23
2.8.2	Net_CO ₂ Skala Meso.....	27
2.9	Alat Pengukur Konsentrasi CO ₂	33
2.10	Analisis <i>Structural Equation Model</i> (SEM)	34
BAB 3 METODE PENELITIAN		39
3.1	Umum	39
3.2	Kerangka Penelitian	39
3.3	Bahan dan alat.....	41
3.4	Lokasi Penelitian.....	41
3.5	Variabel dan Indikator Penelitian	46
3.6	Tahapan Penelitian.....	46
3.6.1	Tahap Persiapan.....	46
3.6.2	Tahap Pengumpulan Data.....	46
3.6.3	Delineasi unit analisis	47
3.6.4	Tahap Membangun Model.....	48
3.6.5	Tahap <i>Testing Model</i>	48
3.7	Model Reduksi CO ₂ udara ambien	49
3.8	Penarikan Kesimpulan dan Saran	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Pengumpulan Data Konsentrasi CO ₂ (C).....	53
4.1.1	Penentuan Lokasi Pengambilan Data	53

4.1.2	Pengukuran Konsentrasi CO ₂ (C)	55
4.2	Delineasi Unit Analisis.....	55
4.3	Karakteristik Unit Analisis	60
4.4	Model Persamaan Struktural dengan SEM-PLS	63
4.5	Evaluasi <i>Outer Model</i> dan <i>Inner Model</i>	64
4.5.1	<i>Outer Model</i> Variabel Laten Penggunaan Lahan (LU).....	64
4.5.2	<i>Outer Model</i> Variabel Laten Konsentrasi CO ₂ (C)	66
4.5.3	<i>Outer Model</i> Variabel Laten Fraksi RTH (GS)	67
4.5.4	Inner Model	68
4.6	Pembahasan	69
4.6.1	Pengaruh Penggunaan Lahan (LU) terhadap Nilai Net_CO ₂	69
4.6.2	Pengaruh Konsentrasi CO ₂ (C) terhadap Nilai Net_CO ₂	70
4.6.3	Pengaruh Fraksi RTH (GS) terhadap Nilai Net_CO ₂	71
4.7	Model RTH untuk Meningkatkan Reduksi CO ₂	72
4.8	<i>Testing Model</i> RTH untuk Meningkatkan Reduksi CO ₂	72
4.9	Penerapan Model RTH di Industri Petrokimia.....	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		79

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar nilai CO ₂ di udara ambien.....	8
Tabel 2. 2 Indikator CO ₂ di udara ambien menurut OSHA	8
Tabel 2. 3 Sumber emisi CO ₂ sektor industri.....	9
Tabel 2. 4 Kontribusi Emisi GRK dari sektor industri.....	9
Tabel 2. 5 Emisi GRK Sektor Industri Petrokimia Tahun 2015 dan 2016	10
Tabel 2. 6 Spesifikasi CO ₂ <i>meter</i>	33
Tabel 4. 1 Koordinat lokasi pengambilan data CO ₂ di PT Petrokimia Gresik.....	54
Tabel 4. 2 Spesifikasi CO ₂ <i>meter</i>	33
Tabel 4. 3 Karakteristik 25 unit analisis konstruk model	60
Tabel 4. 4 Nilai Net_ CO ₂ data seri waktu.....	62
Tabel 4. 5 Variabel, proporsi penggunaan lahan dan fraksi RTH.....	59
Tabel 4. 6 Uji validitas indikator variabel laten penggunaan lahan (LU).....	65
Tabel 4. 7 Uji validitas indikator variabel laten konsentrasi CO ₂ (C).....	66
Tabel 4. 8 Uji validitas indikator variabel laten fraksi RTH (GS).....	67
Tabel 4. 9 Uji validitas <i>inner model</i> dengan sampel bootstrap.....	68
Tabel 4. 10 Karakteristik unit analisis untuk <i>testing model</i>	73
Tabel 4. 11 Uji validitas variabel laten untuk <i>testing model</i>	74
Tabel 4. 12 Uji validitas <i>inner model</i> dengan sampel bootstrap.....	74

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tren rata-rata konsentrasi CO ₂ global	7
Gambar 2. 2 Proses efek rumah kaca	12
Gambar 2. 3 Proses fotosintesis dan respirasi tumbuhan	16
Gambar 2. 4 RTH sebagai pembatas wilayah industri dan pemukiman	18
Gambar 2. 5 Skala meteorologi.....	19
Gambar 2. 6 <i>Box model</i> sederhana	21
Gambar 2. 7 Luasan antara kurva laju perubahan konsentrasi.....	23
Gambar 2. 8 Lahan tanpa vegetasi.	24
Gambar 2. 9 Lahan dengan vegetasi jarang..	25
Gambar 2. 10 Lahan dengan vegetasi rumput.....	26
Gambar 2. 11 Lahan vegetasi multi layer..	27
Gambar 2. 12 Lokasi pengukuran, kurva konsentrasi CO ₂ dan kurva fluk CO ₂ ..	28
Gambar 2. 13 Kurva laju konsentrasi dan nilai kumulatif konsentrasi CO ₂	29
Gambar 2. 14 Lokasi pengukuran konsentrasi CO ₂ area urban dan sub urban.....	30
Gambar 2. 15 Konsentrasi CO ₂ di area <i>sub urban</i> dan <i>urban</i>	30
Gambar 2. 16 Konsentrasi CO ₂ di area urban saat hari kerja dan hari libur	31
Gambar 2. 17 Konsentrasi CO ₂ di area urban saat hari kerja.....	32
Gambar 2. 18 CO ₂ <i>meter</i> merk Lutron tipe GCH-2018	34
Gambar 2. 19 Hubungan antar variabel dan indikator dalam model PLS	35
Gambar 3. 1 Kerangka Alur Penelitian	39
Gambar 3. 2 Penentuan unit analisis	42
Gambar 3. 3 Lokasi Kawasan Industri PT Petrokimia Gresik	44

Gambar 3. 4 Diagram pola hubungan antar variabel-indikator dan pengkodean ..	49
Gambar 4. 1 Jalur masuk <i>Plant</i> II PT Petrokimia Gresik	53
Gambar 4. 2 Lokasi pengambilan data CO ₂ di PT Petrokimia Gresik	56
Gambar 4. 3 Delineasi lokasi 1 <i>cluster</i> pabrik III	58
Gambar 4. 4 Hasil <i>running</i> algoritma antar indikator dan variabel laten	64
Gambar 4. 5 Hasil <i>running</i> indikator dari variabel laten penggunaan lahan (LU)	64
Gambar 4. 6 Hasil <i>running</i> indikator dari variabel laten konsentrasi CO ₂ (C).....	66
Gambar 4. 7 Hasil <i>running</i> indikator dari variabel laten fraksi RTH (GS).....	67
Gambar 4. 8 Hasil <i>running</i> algoritma setelah indikator tidak valid dihilangkan ..	69
Gambar 4. 9 Hasil <i>running</i> untuk <i>testing model</i>	73
Gambar 4. 10 Hasil <i>running testing model</i> setelah indikator tidak valid hilang ...	75
Gambar 4. 11 Konstruksi model vs <i>testing model</i> untuk P	76

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri selalu dikaitkan dengan sumber pencemar udara karena kegiatan industri sangat tampak dalam pembebasan berbagai senyawa kimia ke lingkungan. Kegiatan ekonomi yang berkaitan dengan penggunaan dan konversi energi umumnya diikuti dengan emisi polutan udara, yang menyebabkan dampak negatif pada lingkungan (Vlachokostas, dkk., 2012). Rencana pemanfaatan ruang yang kurang tepat dapat berpengaruh terhadap penurunan kualitas lingkungan hidup, sehingga lingkungan menjadi berkembang secara ekonomi, namun menurun secara ekologi (Pramudito dan Moersidik, 2010). Kegiatan industri adalah konsumen bahan bakar terbesar kedua di Indonesia. Kegiatan industrialisasi telah menimbulkan lebih dari 20 persen gas emisi rumah kaca. Jumlah ini adalah tiga kali lipat dari pada jumlah emisi yang dikeluarkan oleh semua mobil yang ada di dunia ini dan merupakan nomor dua dari sektor energi yang menghasilkan paling banyak jumlah emisi (Nemerow, dkk., 2008).

Salah satu isu global adalah perubahan iklim yang diakibatkan peningkatan emisi gas CO₂. Menurut *United Nation Framework Convention on Climate Change-UNFCCC* dalam Protokol Kyoto, ada enam jenis emisi yang digolongkan sebagai gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO₂), gas metan (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), sulfur heksafluorida (SF₆), perfluorokarbon (PFCS) dan hidrofluorokarbon (HFCS). Gas yang dikategorikan sebagai gas rumah kaca (GRK) adalah gas yang berpengaruh terhadap perubahan iklim baik secara langsung maupun tidak langsung. Kenaikan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di udara akan mengakibatkan kenaikan temperatur di bumi sehingga akan menyebabkan perubahan iklim (IPCC, 2005). Sektor industri yang menghasilkan emisi CO₂ diantaranya adalah industri petrokimia. Industri petrokimia merupakan salah satu industri yang bergerak dalam bidang produksi pupuk (Urea, ZK, SP36, Phonska, dan ZA) dan bahan kimia (Amonia, Asam sulfat, Asam fosfat, *cement retarder*, dan

Alumunium fluorida). Lebih dari 75% komposisi GRK di atmosfer adalah CO₂ sehingga apabila emisi CO₂ dari berbagai kegiatan dapat dikurangi secara signifikan maka ada peluang dampak pemanasan global terhadap perubahan iklim akan berkurang.

WHO menyatakan konsentrasi karbon dioksida pada udara yang bersih adalah 300 ppm – 350 ppm. Salah satu upaya dalam mengurangi emisi CO₂ adalah menggunakan peran tumbuhan. Ruang terbuka hijau industri diperuntukan untuk mengurangi tingkat pencemaran, yaitu nilai emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kegiatan industri petrokimia. Ruang terbuka hijau (RTH) adalah salah satu komponen pembentuk ruang atau wilayah perkotaan yang memiliki peranan penting dalam menyangga (*biofiltering*), mengendalikan (*biocontrolling*), dan memperbaiki (*bioengineering*) kualitas lingkungan kehidupan suatu wilayah perkotaan (Dinas Pertamanan, 2007). Pohon dan vegetasi diketahui mampu menyerap dan menjerap polutan yang dikeluarkan oleh industri melalui permukaan daun. Penelitian Nowak, dkk. (2006); Speak, dkk. (2012); Chaturvedi, dkk. (2013); menyatakan bahwa tanaman di ruang terbuka hijau (RTH) bisa mereduksi konsentrasi CO₂ udara ambien.

Ruang terbuka hijau pada industri dibangun untuk membatasi perkembangan pemanfaatan lahan dan sebagai pembatas aktivitas industri dan perkotaan sehingga tidak saling mengganggu (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008; Marmi, 2016). Mengingat sebagian besar lokasi kawasan industri berdampingan dengan wilayah pemukiman dan kegiatan perkotaan, maka keberadaan RTH sangat diperlukan. Variabel utama dari penelitian ini adalah reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO₂), penggunaan lahan (LU), konsentrasi karbon dioksida (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS). Maka dari itu perlu dilakukan perencanaan pengelolaan tata ruang RTH di kawasan industri petrokimia mendatang melalui pengaplikasian model RTH terhadap reduksi CO₂.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka didapatkan rumusan masalah yang akan dibahas yaitu formulasi model penetapan ruang terbuka hijau (RTH)

untuk mereduksi CO₂ udara ambien dengan melibatkan variabel reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO₂), penggunaan lahan (LU), konsentrasi karbon dioksida (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS) di industri petrokimia.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan model RTH dalam mereduksi CO₂ udara ambien dengan melibatkan variabel reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO₂), penggunaan lahan (LU), konsentrasi karbon dioksida (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS) di industri petrokimia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu pengembangan ilmu untuk mengetahui ketercukupan RTH dalam mereduksi konsentrasi CO₂ udara ambien, dan sebagai penataan ruang kawasan industri petrokimia mendatang, terutama untuk penetapan ruang terbuka hijau di industri petrokimia.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki batasan ruang lingkup antara lain:

1. Lokasi penelitian di PT Petrokimia Gresik,
2. Penelitian dilakukan pada hari kerja saat aktivitas terpadat berlangsung (06.00-18.00),
3. Perhitungan luas ruang terbuka hijau diperoleh dengan bantuan program ArcGIS 10.3,
4. Analisis penentuan pengaruh menggunakan program *Structural Equation Modeling – Partial Least Square* (SEM-PLS).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Karbon Dioksida (CO₂)*

Karbon Dioksida (CO₂) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen (O₂) yang terikat secara kovalen dengan atom karbon (C) sebagai buangan dari sisa hasil pembakaran karbon yang sempurna (Sihotang dan Assomadi, 2010). Karbon dioksida (CO₂) termasuk kelompok gas rumah kaca (GRK) dengan konsentrasi lebih besar dibandingkan GRK lainnya, yaitu menempati urutan ke dua setelah H₂O (Samiaji, 2011). CO₂ merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca (*greenhouse effect*) sebesar 50 %, 41 % dari sisi energi dan 9 % dari sisi non energi (Goeritno, 2002). Pemanasan global terjadi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca yang menjadi perangkap gelombang radiasi, sebagian panas yang seharusnya terpantul ke atmosfer terperangkap di bumi sehingga mengakibatkan suhu rata-rata bumi terus meningkat (Abdullah dan Khairuddin, 2009). Dibandingkan GRK lainnya, CO₂ dapat tinggal di atmosfer pada kisaran waktu relatif lebih lama yaitu sekitar 5-200 tahun. Akibatnya, akan terjadi akumulasi CO₂ dalam jumlah yang besar. Sementara dampak peningkatan temperatur udara akan tetap dirasakan dalam jangka waktu puluhan bahkan ratusan tahun meskipun telah ada upaya untuk menghentikan emisinya (Murdiyarso, 2003).

Dalam prosesnya, energi matahari diperlukan untuk membentuk gas karbon dioksida. Sumber emisi CO₂ berasal dari sumber alamiah (*natural sources*) dan dari kegiatan manusia (*antrophogenic sources*). Sumber secara alami berasal dari letusan gunung api, respirasi, dekomposisi bahan organik, dan seumber lainnya. Sedangkan sumber antropogenik berasal dari transportasi, industri, penggundulan dan pembakaran hutan, pembakaran sampah dan lainnya. Selain dipengaruhi faktor ilmiah ataupun buatan, tanaman hijau juga menghasilkan gas karbon dioksida pada malam hari karena tidak terdapat sinar matahari untuk melakukan proses fotosintesis. Sehingga tumbuhan hanya bisa melakukan respirasi dengan menyerap O₂ dan menghasilkan CO₂ seperti pada proses respirasi makhluk hidup lainnya.

2.1.1 Sifat Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida bersifat tidak berwarna dan tidak berbau. Pada konsentrasi tinggi, karbon dioksida berbau tajam dan menimbulkan rasa asam juga menyengat ketika terhirup oleh manusia. Sifat karbon dioksida antara lain:

- Titik lebur : -78 °C
- Titik didih : -57 °C
- Kelarutan ; 1,45 gram/liter pada 25 °C tekanan 100 kPa
- Keasaman : pKa 6,35 – 10,33
- Indeks reaksi : 1,1120
- Viskositas : 0,07 pada -78 °C

Konsentrasi karbon dioksida yang tinggi mengakibatkan kontak terhadap manusia dalam waktu lebih lama. Kontak yang terlalu lama dapat mengakibatkan penurunan metabolisme tubuh dan menyebabkan asidosis. Paparan karbon dioksida yang terlalu tinggi bersifat racun terhadap jantung yang menyebabkan kontraksi jantung berkurang. Kadar karbon dioksida di udara yang dapat mempengaruhi metabolisme tubuh antara lain (Soemirat, 2005):

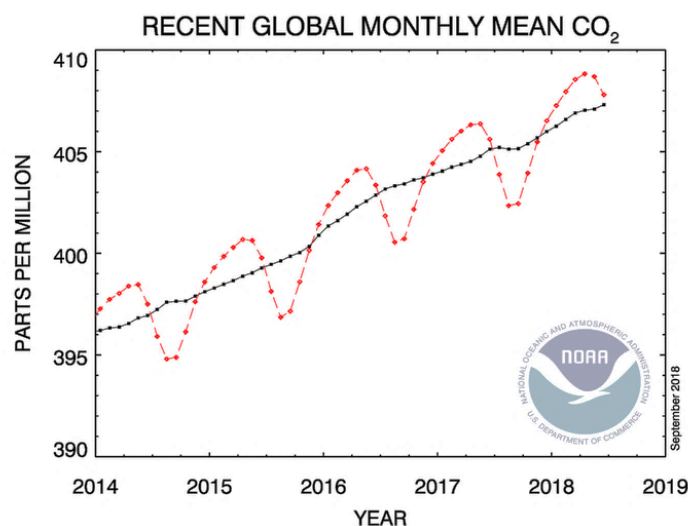
- Paparan 1 % dapat menyebabkan mengantuk dengan pemaparan yang berkepanjangan
- Paparan 2 % dapat meningkatkan tekanan darah dan denyut nadi serta menyebabkan pandangan berkurang
- Paparan 5 % menyebabkan stimulasi pusat pernafasan, pusing, bingung dan kesulitan bernafas disertai sakit kepala dan sesak napas
- Paparan 8 % menyebabkan sakit kepala berkeringat penglihatan kabur, gemetar, kehilangan kesadaran setelah pemaparan selama 5 – 10 menit

2.1.2 Konsentrasi CO₂ di Udara Ambien

Peningkatan kadar CO₂ di atmosfer menunjukkan angka yang cukup signifikan. Menurut Kiran dan Kinnary (2011) karbon dioksida merupakan kontributor paling signifikan terhadap emisi GRK karena secara langsung berkaitan dengan kegiatan ekonomi manusia. Pada masa sebelum revolusi industri (1700 M), kadar CO₂ di udara cukup stabil yaitu 280 ppm. Sedangkan pada tahun 2012, konsentrasi CO₂ meningkat hingga 394,01 ppm (NOAA). Laju peningkatan

konsentrasi CO₂ selama tahun 2000 hingga 2006 mencapai 1,93 ppm per tahun (Boer, dkk., 2012). Di Indonesia, penelitian oleh Samiaji (2010) menyatakan bahwa konsentrasi CO₂ permukaan dari tahun 2004 hingga 2010 mengalami peningkatan dari 373 ppm menjadi 383 ppm.

Divisi Pemantauan Global NOAA *Earth System Research Laboratory* (ESRL) telah mengukur karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya selama beberapa dekade. NOAA melaporkan pada juni 2018 kadar CO₂ skala global adalah sebesar 407,8 ppm. Hasil ini menunjukkan kadar CO₂ di udara skala global meningkat dibanding pada tahun 2017 yaitu sebesar 405,61 ppm.



Gambar 2. 1 Tren rata-rata konsentrasi CO₂ global (NOAA, 2018)

Gambar 2.1 menunjukkan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) mengalami fluktuasi atau perubahan untuk periode 5 tahun terakhir. Konsentrasi karbon dioksida (CO₂) cenderung mengalami peningkatan setiap tahunnya. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) menyimpulkan bahwa sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca.

2.1.3 CO₂ Sebagai Indikator Kualitas Udara

Menurut WHO, udara bersih mempunyai nilai konsentrasi CO₂ antara 310 ppm sampai 330 ppm, sedangkan udara tercemar mempunyai nilai konsentrasi CO₂

antara 350 ppm sampai 700 ppm. *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) menyatakan standar paparan kerja CO₂ adalah sebesar 0,5% (5000 ppm). Pedoman SNI 19-0232-2005 tentang nilai ambang batas (NAB) zat kimia di udara tempat kerja untuk parameter CO₂ adalah 9000 mg/m³ (Tabel 2.1). Menurut Soemirat (2005), karbon dioksida di udara bersifat toksik. CO₂ akan merugikan terhadap manusia jika kadar paparan mencapai 3% (30000ppm) (Hepple dan Benson, 2001). Indikator CO₂ di udara ambien disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Standar nilai CO₂ di udara ambien

Lembaga Standarisasi	Kadar CO ₂
WHO	310 – 330 ppm
ASRAE	< 1000 ppm
OSHA	< 5000 ppm
SNI 19-0232-2005	< 9000 mg/m ³

Tabel 2. 2 Indikator CO₂ di udara ambien menurut OSHA

Kondisi	Kadar CO ₂
Kondisi normal di luar ruangan	350 – 450 ppm
Tingkat toleransi	< 600 ppm
Berbau dan menyengat	600 – 1000 ppm
Efek mengantuk	1000 – 2500 ppm
Efek buruk pada kesehatan	2500 – 5000 ppm
Toleransi konsentrasi maksimum untuk pekerja	5000 – 10000 ppm / 8 jam kerja 30000 ppm / 15 menit jam kerja
Efek mabuk, mual, panik	30000 – 40000 ppm
Efek sakit kepala, iritasi mata	50000 ppm
Efek tidak sadar hingga kematian	100000 ppm

Sumber: engineering toolbox

2.2 CO₂ di Kawasan Industri

Sebagian besar sumber CO₂ dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia (antropogenik). Emisi gas rumah kaca di Indonesia dari semua sektor pada tahun 2000 adalah sebesar 1377982 Gg CO₂e dan sektor industri memberikan kontribusi sebesar 3,12% (Kementrian Perindustrian). Semua kegiatan industri menghasilkan

emisi gas rumah kaca, namun jenis industri yang memberikan emisi terbesar adalah industri semen, industri petrokimia, industri baja, industri pulp & kertas, industri tekstil, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman. Sumber emisi CO₂ dari sektor industri menurut IPCC 2005 disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Sumber emisi CO₂ sektor industri

Process	Number of sources	Emissions (MtCO ₂ yr ⁻¹)
Fossil fuels		
Power	4,942	10,539
Cement production	1,175	932
Refineries	638	798
Iron and steel industry	269	646
Petrochemical industry	470	379
Oil and gas processing	Not available	50
Other sources	90	33
Biomass		
Bioethanol and bioenergy	303	91
Total	7,887	13,466

Sumber: IPCC, 2005

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan kadar emisi gas rumah kaca sebesar skenario 26% dan 41% pada tahun 2020. Hal tersebut ditetapkan pada Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Hasil inventori GRK tahun 2010 untuk delapan sektor industri penghasil emisi GRK disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Kontribusi Emisi GRK dari sektor industri

No	Subsektor Industri	Emisi GRK (Mton CO ₂ e) Inventory tahun 2010	Prosentase (%)	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 26%) Mton CO ₂ e	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 41 %) Mton CO ₂ e
1	Semen	32	27,97	0.280	1.398
2	Baja	8.34	7,29	0.073	0.364
3	Pulp & Kertas	31.02	27,11	0.271	1.356
4	Tekstil	11.09	9,69	0.097	0.485
5	Petrokimia	11.46	10,02	0.100	0.501
6	Keramik	1.36	1,19	0.012	0.059
7	Pupuk	11.23	9,82	0.098	0.491
8	Makanan & Minuman	7.91	6,91	0.069	0.346
	Total	114,41	100	1	5

Sumber: Laporan Inventarisasi GRK 2010

Mengacu pada Pedoman IPCC 2006, proses produksi di industri kimia yang tercakup dalam inventarisasi GRK adalah amonia, asam nitrat, karbida, asam adipat, kaprolaktam, glioksal, dan asam glioksilat, titanium dioksida, produksi soda abu alami, dan petrokimia (metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon hitam). Estimasi emisi GRK dari jenis industri kimia yang dibahas dalam laporan inventori gas rumah kaca tahun 2017 terbatas pada industri yang berada di Indonesia yaitu industri amonia, asam nitrat, karbida, metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon hitam. Rincian emisi GRK dari sektor industri petrokimia tahun 2015-2016 disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Emisi GRK Sektor Industri Petrokimia Tahun 2015 dan 2016

Code	Categories	Emisi 2015	Emisi 2016
		(Gg CO ₂ e)	(Gg CO ₂ e)
Chemical			
2.B.1	Ammonia	7.854	7.395
2.B.2	Nitric Acid	1.029	1.123
2.B.5	Carbide	24	24
2.B.8.a	Methanol	279	292
2.B.8.b	Ethylene	784	1.783
2.B.8.c	Ethylene Dichloride and VCM	219	400
2.B.8.f	Carbon Black	208	219

Sumber: Laporan Inventarisasi GRK 2017

Emisi gas rumah kaca dari sektor industri mencakup CO₂, CH₄, N₂O dan perfluorokarbon (PFC) dalam bentuk CF₄ dan C₂F₆. Emisi yang dihasilkan, terutama CO₂, sebagian besar berasal dari penggunaan energi, kegiatan proses produksi, dan emisi dari limbah.

2.2.1 Emisi CO₂ dari Penggunaan Energi

Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar merupakan emisi energi. Kementerian perindustrian menyebutkan bahwa sektor penggunaan energi terbesar di Indonesia adalah industri yang menyerap 47,2 % dari total penggunaan energi nasional. Energi di industri digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar motor, bahan bakar di furnace, bahan bakar boiler untuk membuat steam, bahan baku (feedstock) khusus pada industri pupuk, transportasi dan

perkantoran. Penggunaan bahan bakar terbesar adalah minyak bumi dan batubara, dimana kedua bahan bakar tersebut sudah sangat terbatas jumlahnya.

2.2.2 Emisi CO₂ dari Proses Produksi

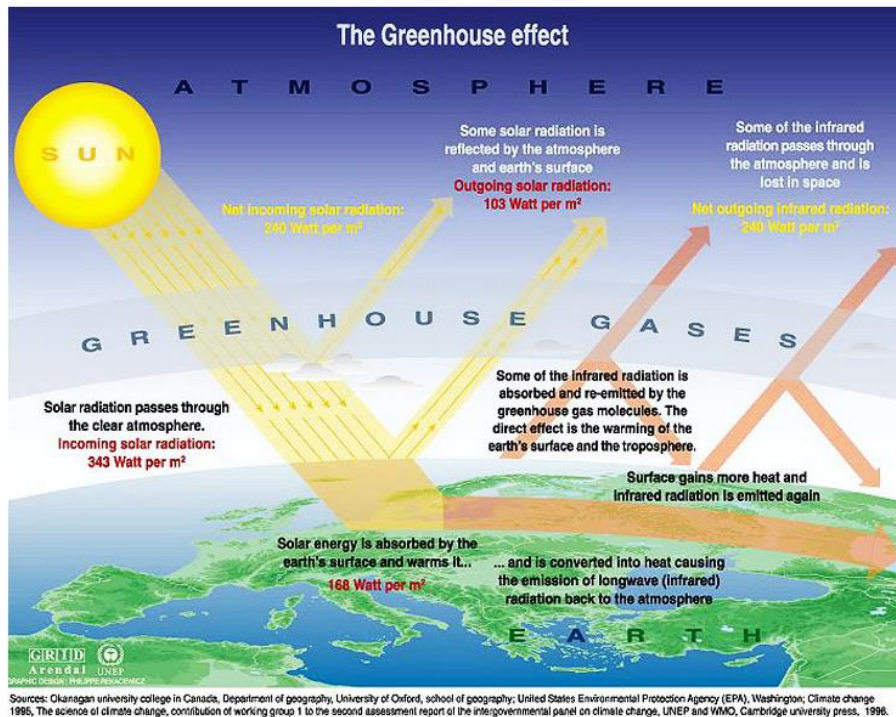
Emisi proses produksi adalah emisi yang dihasilkan dari reaksi kimia atau proses secara fisik yang menghasilkan zat sisa. Industri kimia dan petrokimia yang menggunakan amoniak sebagai salah satu bahan produksi melakukan reaksi *steam reforming* yang dapat menghasilkan emisi CO₂. Faktor emisi CO₂ yang berasal dari proses produksi amoniak adalah 3,273 ton CO₂/ton amoniak (Djadjadilaga, dkk., 2009). Peralatan yang berkaitan dengan emisi CO₂ pada proses produksi antara lain: boiler, tungku bakar, kolom regenerator absorben pemisahan gas CO₂, *kiln* batu kapur, *kiln* pengering, *kiln* reduktor, tanur *smelting*, turbin gas, dan unit-unit proses penghasil CO₂ (*reformer*).

2.2.3 Emisi CO₂ dari Limbah Industri

Limbah industri dapat berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan industri akan dibakar menggunakan insenerator yang menghasilkan emisi CO₂, sedangkan limbah cair diolah menggunakan proses anaerobik yang menghasilkan CH₄.

2.3 Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang berada di atmosfer yang menyebabkan terjadinya efek rumah kaca. Efek rumah kaca adalah proses pemanasan bumi yang disebabkan oleh komposisi dan keadaan atmosfer. Efek rumah kaca adalah proses menembusnya energi dari matahari ke dalam atmosfer bumi, kemudian beberapa energi diserap oleh permukaan bumi dan laut sehingga bumi menjadi hangat. Sisa radiasi lainnya dipantulkan kembali ke luar angkasa dalam bentuk energi inframerah. Ketika beberapa energi inframerah diradiasikan kembali ke luar angkasa, beberapa diantaranya diserap kembali dan dipancarkan kembali oleh uap air dan berbagai gas rumah kaca di atmosfer. Energi yang diserap inilah yang menghangatkan permukaan bumi sehingga atmosfer tampak seperti halnya rumah kaca. (State of Delaware). Proses efek rumah kaca disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Proses efek rumah kaca (State of Delaware)

Menurut Protokol Kyoto pada konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (UNFCCC), ada 6 jenis gas yang digolongkan sebagai gas rumah kaca (GRK), yaitu: Karbon dioksida (CO₂), Nitrogen oksida (N₂O), Metana (CH₄), sulfurheksaflorida (SF₆), perflorokarbon (PFCs), dan hidroflorokarbon (HFCs).

1. Karbon dioksida (CO₂)

Karbon dioksida merupakan gas dengan konsentrasi terbanyak penyebab efek rumah kaca yaitu sekitar 70% dari volume total seluruh gas rumah kaca. Karbon dioksida dapat terbentuk dari hasil pembakaran bahan-bahan hidrokarbon seperti bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi, gas alam, dll) atau biomassa (kayu), deforestasi, dan lepasnya karbon bawah tanah akibat rusaknya ekosistem gambut. Karena jumlahnya paling banyak, Karbon dioksida dianggap sebagai gas rumah kaca acuan.

2. Nitrogen oksida (N₂O)

Nitrogen oksida merupakan gas yang secara alami ada di bumi. Tidak banyak diketahui tentang asal gas ini dalam atmosfer. Nitrogen oksida ini merupakan hasil samping dari pembuatan dan pemakaian pupuk nitrogen. Nitrogen oksida juga dapat disebabkan dari pembakaran bahan bakar fosil.

3. Metana (CH₄)

Metana adalah gas rumah kaca yang terbentuk secara alami. Metana dihasilkan ketika jenis-jenis mikroorganisme tertentu menguraikan bahan organik pada kondisi anaerob. Metana juga dihasilkan pada tempat pembuangan sampah dengan jumlah yang cukup banyak, sehingga dapat menguntungkan bila digunakan sebagai sumber energi alternatif. Gas ini mudah terbakar dan menghasilkan gas Karbon dioksida sebagai hasil sampingnya.

4. Gas Industri yang mengandung Fluor (SF₆, PFCs, HFCs)

Gas-gas yang mengandung fluor kebanyakan diproduksi dari proses industri. Gas ini akan tinggal selama-lamanya di atmosfer karena sifatnya yang tidak dapat menyerap dan hancur secara alamiah.

2.4 Ruang Terbuka Hijau

Ruang Terbuka Hijau adalah area memanjang/jalur dan atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008). Pohon secara alami dapat menyerap emisi yang ada di udara dan lebih efektif pada pohon-pohon berdaun lebar. Selain itu, setiap satu hektar ruang terbuka hijau dapat menghasilkan 0,6 ton oksigen per harinya. Ini dapat mengurangi pekatnya konsentrasi emisi yang terlarut di udara (Parlupi, 2008). Manfaat RTH berdasarkan fungsinya dibagi atas manfaat secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat secara langsung (dalam pengertian cepat dan bersifat *tangible*) yaitu membentuk keindahan, kenyamanan dan mendapatkan bahan-bahan untuk dijual (kayu, daun, bunga, buah). Manfaat tidak langsung (berjangka panjang dan bersifat *intangible*) yaitu membersihkan udara secara efektif, memelihara akan kelangsungan persediaan air tanah, melestarikan fungsi lingkungan beserta segala fauna dan flora yang ada (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008).

RTH dapat dikatakan cukup jika mampu menyerap seluruh emisi yang terdapat di suatu area, jika masih terdapat sisa emisi maka diperlukan adanya

penambahan RTH (Roshintha dan Mangkoedihardjo, 2016). Syamdermawan, dkk (2012) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa RTH akan memiliki hubungan dengan bahan pencemaran di udara dengan hasil nilai signifikansi adalah $0,001 < 0,05$, hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara RTH dengan konsentrasi CO_2 di udara. Penelitian oleh Gucci, dkk (2016) juga menyebutkan bahwa hasil uji antara CO_2 dengan RTH menunjukkan nilai signifikansi $<0,05$. Hal ini menjelaskan bahwa CO_2 berpengaruh terhadap menurunnya kandungan klorofil pada tumbuhan. Menurunnya kandungan klorofil pada tumbuhan menunjukkan bahwa CO_2 dengan konsentrasi tinggi akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan yang mengakibatkan kemampuan kloroplas dalam dinding sel semakin menurun.

Kawasan industri petrokimia menggunakan bahan baku produksi berupa amonia, asam nitrat, karbida, metanol, etilen, etilen diklorida, dan karbon hitam yang dikawatirkan berdampak negatif terhadap lingkungan, terutama akibat pencemaran udara yang ditimbulkan oleh proses produksi. Oleh karena itu, adanya RTH dapat menjadi pemisah antara area industri dengan permukiman dan akan sangat berperan dalam mengantisipasi pencemaran udara yang berasal dari kawasan industri menuju kawasan permukiman (Pupuk Kaltim, 2016). Fungsi dan peran RTH pada industri antara lain:

a. Penahan dan Penyaring Partikulat.

Lahan yang ditanami pepohonan dengan tajuk pohon yang tinggi dan rapat dapat membersihkan partikel padat yang tersuspensi yang melayang akan terjep (menempel) pada permukaan daun, terutama daun yang berbulu dan permukaan yang kasar (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008; Samsuudin dan Subiandono, 2007).

b. Penyerap dan Penepis Bau

Lahan RTH untuk mengurangi tingkat kebauan dapat dilakukan dengan menyiapkan tanaman dengan kemampuan menyerap bau secara langsung atau dengan merencanakan penanaman tanaman yang menghasilkan bau harum seperti cempaka, dan tanjung sehingga dapat menetralkan bau (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008; Grey dan Deneke, 1978).

c. Peredam Kebisingan

Lahan RTH untuk mengantisipasi kebisingan dari sumber kawasan industri memerlukan karakteristik tegakan pohon peredam kebisingan dengan tajuk tebal dan daun yang rindang. Daun-daun tegakan pohon tersebut menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008; Grey dan Deneke, (1978) mampu menyerap kebisingan hingga 95%.

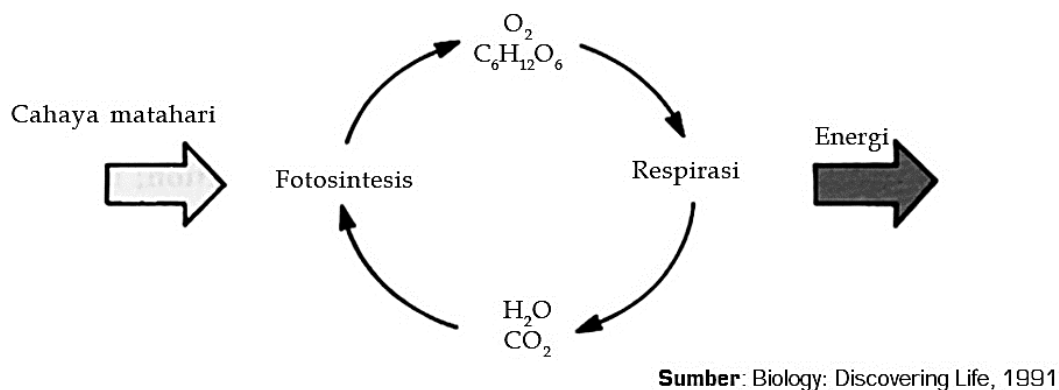
2.4.1 Mekanisme Penyerapan CO₂ oleh Tumbuhan

Tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap dan mengakumulasi emisi di udara. Vegetasi mereduksi massa CO₂ udara ambien melalui proses fotosintesis pada siang hari. Pada malam hari, vegetasi mengemisi massa CO₂ ke udara ambien (Salisbury, 1999). Partikel padat akan menempel pada permukaan daun, khususnya daun yang memiliki permukaan berbulu dan kasar. Nowak (2006) pada penelitiannya menjelaskan cara tumbuhan untuk mereduksi emisi di udara dengan menyerap partikel ke dalam tumbuhan, sebagian besar partikel akan tertahan pada permukaan tumbuhan karena terinsepsi dan beberapa partikel tersuspensi kembali ke atmosfer. Menurut Shan, dkk (2011), kemampuan tumbuhan dalam menyerap emisi dipengaruhi oleh kondisi tanaman seperti kepadatan dan struktur tanaman. Penelitian Hidayati, dkk (2013) menyatakan bahwa bukaan stomata berkorelasi positif dengan serapan CO₂, semakin besar bukaan maka semakin besar serapan CO₂. Gabungan luas permukaan daun dan aktivitas bukaan stomata menjadi kombinasi yang sangat mempengaruhi tingkat penyerapan CO₂ dari udara.

Taihuttu (2001) dalam penelitiannya menyatakan tanaman berdaun jarum mempunyai kemampuan jerapan emisi yang sangat tinggi, sedangkan tanaman berdaun kecil dan dengan permukaan licin mempunyai jerapan yang paling rendah. Selain penyerapan pada daun, penyerapan terhadap emisi juga dilakukan di berbagai bagian tanaman seperti ranting dan batang. Dahlan (1989) menjelaskan bahwa ranting pohon yang berbulu menyerap emisi lebih banyak dibandingkan ranting yang berkulit licin. Pohon berkulit kasar dapat menyerap emisi lebih tinggi dibandingkan dengan pohon berkulit licin. Nowak, dkk., (2006); Escobedo dan Nowak, (2009); dan Tallis, dkk., (2011) menyatakan wilayah RTH yang bervegetasi tinggi lebih banyak mereduksi polutan daripada area yang bervegetasi

semak. Penelitian oleh Hastuti dan Sulistyarso (2012) tentang penyediaan RTH di kawasan industri Surabaya menyebutkan bahwa RTH berjenis pohon dengan daya serap 569,07 ton/ha/tahun mampu mengurangi emisi CO₂ dari 21.225,6 ton CO₂/tahun menjadi 18.322,16 ton CO₂/tahun untuk kawasan SIER dan emisi 17.047,2 ton CO₂/tahun menjadi 8.074,42 ton CO₂/tahun untuk kawasan Margomulyo.

Mekanisme pengikatan karbon dari atmosfer terjadi ketika terdapat cahaya matahari, tumbuhan melakukan fotosintesis untuk mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat dan melepaskan oksigen ke atmosfer. Laju fotosintesis sangat dipengaruhi oleh sinar matahari, kadar air tanah, konsentrasi CO₂, ketersediaan unsur hara, jenis vegetasi, dan material toksik (Salisbury, 1999). Sementara proses pelepasan karbon ke atmosfer terjadi melalui proses respirasi oleh tumbuhan dan makhluk hidup lain. Hal ini merupakan reaksi eksotermik termasuk penguraian glukosa menjadi karbon dioksida dan air (Afdal, 2007). Mekanisme pegikatan dan pelepasan karbon oleh tumbuhan disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses fotosintesis dan respirasi tumbuhan

Salah satu mekanisme tumbuhan dalam mereduksi emisi di udara yaitu dengan pemencaran polutan ke atmosfer yang lebih luas dengan menggunakan tajuk pohon. Tajuk pohon yang tinggi dapat membelokkan hembusan angin ke atmosfer yang lebih luas, sehingga konsentrasi polutan menurun (Nasrullah, 2001). Tanaman mampu merubah kondisi meteorologi lokal seperti menahan kecepatan angin dan meningkatkan kelembaban udara.

2.4.2 Karakteristik Tanaman pada RTH

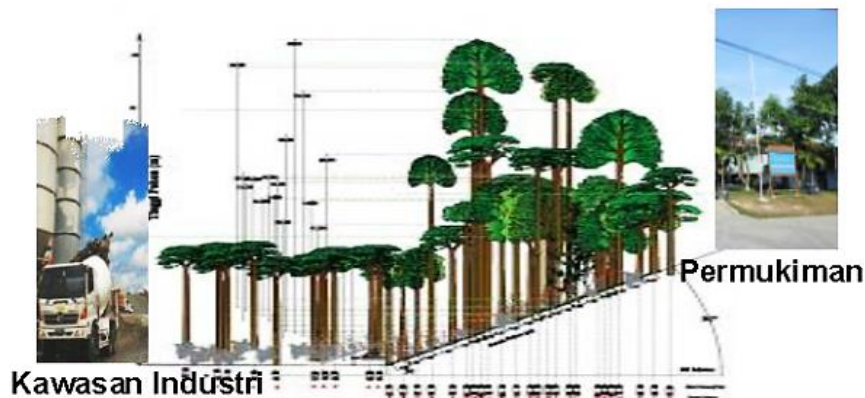
Vegetasi memiliki kemampuan untuk mereduksi jumlah emisi di udara. Tanaman dengan karakteristik memiliki daun lebat dan saling tumpang tindih akan membentuk bidang pengendapan yang lebih luas. Hal yang dapat dipertimbangkan dalam memilih jenis tanaman sebagai RTH adalah fungsi tanaman sebagai penahan dan penyaring partikel di udara. Fungsi ini dilakukan oleh tajuk pohon melalui proses jerapan dan serapan. Partikel padat akan menempel pada permukaan daun, khususnya pada permukaan daun yang berbulu dan memiliki permukaan kasar. Hermawan, dkk., (2011) menyatakan faktor tanaman yang mempengaruhi tingginya proses penjerapan partikel adalah sifat permukaan daun, bentuk percabangan, dan kerapatan tajuk tanaman. Penyerapan dan penjerapan emisi di udara akan terjadi secara baik apabila tajuk daun berukuran lebar dan toleran terhadap paparan polutan (Nugrahani dan Sukartiningrum, 2008). Grey dan Deneke (1978), menambahkan bahwa kriteria pohon yang dapat digunakan untuk menyerap emisi udara, yaitu mempunyai pertanaman yang cepat, tumbuh sepanjang tahun, dan memiliki percabangan dan massa daun yang padat, serta permukaan daun yang berambut.

Jenis-jenis vegetasi yang dapat digunakan untuk menyerap emisi udara dipilih dengan mempertimbangkan kondisi tapak, model tajuk dan tinggi pohon, kecepatan tumbuh dan pemeliharaan mudah, serta memiliki kemampuan penyerapan polutan yang optimal. Contoh jenis tanaman penyerap emisi udara diantaranya, Angsana (*Pterocarpus indicus*), Akasia daun besar (*Accasia mangium*), Oleander (*Nerium oleander*), Bougenvil (*Bougenvillea sp*), dan teh-tehan pangkas (*Acalypha sp*). Menurut Sulasmini, dkk., 2007 dan Suyanti, dkk., 2008, angšana (*Pterocarpus indicus*), ketapang, mahoni (*Swietenia mahagoni*) memiliki fungsi yang baik dalam menurunkan kadar debu di udara. Penelitian oleh Pujiantara, (2018) menyatakan bahwa jenis tanaman yang paling stabil serapannya pada hari kerja dan hari libur untuk jenis pohon adalah tanaman pohon angšana (*Pterocarpus indicus*), diikuti pohon ketapang dan kemudian pohon trembesi. Penelitian oleh Hidayati, dkk (2013), angšana memiliki potensi daya serap CO₂ sebesar 81,83.10⁻³/helai/jam. Penelitian oleh Fakhrian, dkk (2015) menyebutkan bahwa beberapa tanaman dapat digunakan sebagai tanaman pada RTH di kawasan

industri, yaitu Asam Jawa (*Tamarindus indicus* L), Angsana (*Pterocarpus indicus* Wild), Albasia (*Falcataria molucana*), Alba buto (*Enterolobium cyclelocarfum*), Acasia Mangium (*Acasia mangium*), dan Acasia Formis (*Acasia auricoliformis*).

Adanya ruang terbuka hijau dapat berfungsi sebagai pemisah antara area industri dengan permukiman yang nantinya sangat berperan dalam mengantisipasi pencemaran udara yang berasal dari kawasan industri menuju kawasan permukiman (Gambar 2.4). Selain berfungsi sebagai zona hijau pembatas antara kawasan industri dengan kawasan permukiman, RTH juga harus memenuhi beberapa kriteria berikut (Susanto dan Komarawidjaja, 2018):

- a. Tanaman yang memiliki kapasitas menyerap debu dari pabrik,
- b. Tanaman yang memiliki kapasitas menyerap gas pencemar yang dihasilkan pabrik pupuk
- c. Tanaman yang memiliki kapasitas mengurangi bau dari emisi pabrik yang timbul.



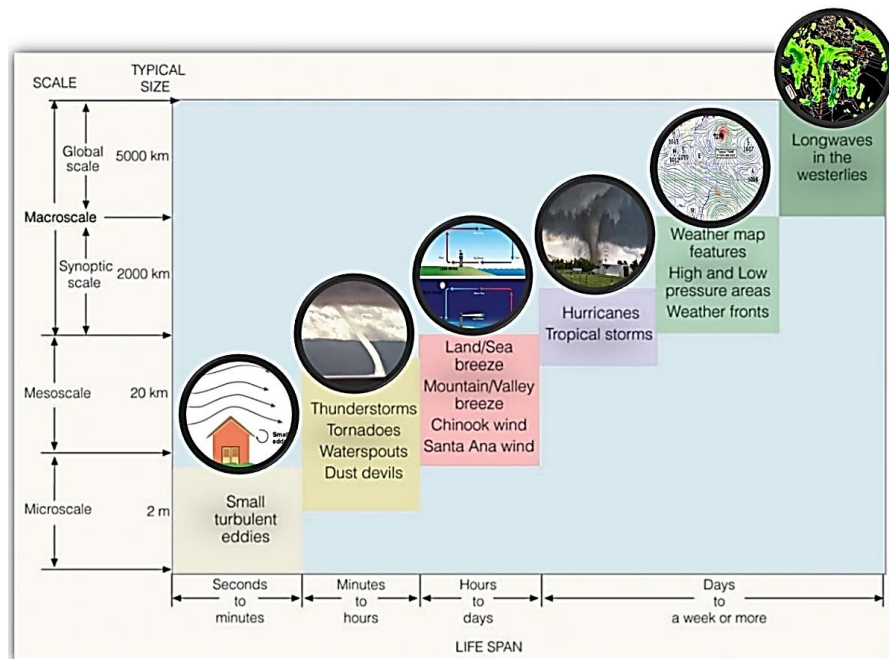
Gambar 2. 4 RTH sebagai pembatas wilayah industri dan pemukiman (Susanto dan Komarawidjaja, 2018)

2.5 Pengaruh Angin terhadap Konsentrasi CO₂

Angin disebabkan oleh perbedaan tekanan karena perbedaan temperatur di bumi. Angin adalah pergerakan udara yang bergerak dari tempat bertekanan tinggi menuju tempat bertekanan rendah. Ketika kecepatan angin tinggi dan suhu lingkungan stabil, maka penyebaran polutan lebih cepat terjadi dan konsentrasi polutan tidak menumpuk di sekitar sumber emisi. Penelitian oleh Elaeis, dkk (2013)

menunjukkan bahwa kecepatan angin berkorelasi terbalik dengan konsentrasi polutan. Artinya, semakin besar kecepatan angin, maka konsentrasi polutan akan semakin kecil karena terdispersi ke segala arah. Rahmawati (2008) menyatakan bahwa semakin cepat kecepatan angin pada suatu daerah maka pencampuran polutan dari sumber emisi akan semakin besar sehingga terjadi pengenceran polutan di udara sehingga emisi akan berkurang.

Kondisi meteorologi dapat dikelompokkan dalam 4 (empat) skala. Skala meteorologi merupakan gambar kondisi cuaca yang terbentuk karena skala gerak atmosfer berdasarkan ruang dan waktu (Ahrens dan Henson, 1993). Skala meteorologi terbagi menjadi skala mikro, skala meso, skala sinoptik/makro, dan skala global. Skala meteorologi dan kondisi cuaca yang ada di dalamnya disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Skala meteorologi (Ahrens dan Henson, 1993)

Penjelasan pembagian skala meteorologi untuk skala mikro, skala meso, skala makro dan skala global yaitu:

- Skala mikro meteorologi merupakan fenomena cuaca yang terjadi pada area kecil kurang dari 1 km dengan waktu terjadi hanya beberapa menit. Contoh fenomena cuaca skala mikro adalah golakan angin yang terjadi karena hambatan dari bangunan.

- b. Skala meso meteorologi terjadi pada area kurang dari 20 km dengan waktu terjadinya beberapa menit hingga beberapa jam. Contohnya adalah angin puting beliung, sirkulasi angin darat dan angin laut.
- c. Skala makro meteorologi termasuk di dalamnya skala sinoptik berada pada area hingga ribuan kilometer yang terjadi hingga beberapa hari seperti tornado dan siklon tropis.
- d. Skala global meteorologi menggambarkan kondisi cuaca pada area lebih dari 5000 km seperti sirkulasi angin monsun dan penjaran jetstream.

Kecepatan angin pada dasarnya ditentukan oleh perbedaan tekanan udara. Polutan-polutan di atmosfer terdispersi dalam dua cara yaitu melalui kecepatan angin dan turbulensi atmosfer (Zendrako, 2010). Penelitian Proias, (2010) menyebutkan bahwa kecepatan angin berkorelasi secara baik terhadap nilai konsentrasi polutan di udara. Sofiati, (2013) juga menyatakan bahwa kecepatan angin mempengaruhi konsentrasi emisi udara ambien. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi polutan maksimum terjadi pada saat kecepatan angin minimum. Kondisi kecepatan angin minimum menyebabkan polutan di udara terakumulasi di permukaan sehingga konsentrasi polutan menjadi tinggi. Penelitian oleh Yulianti, dkk (2013) menunjukkan bahwa meteorologi berpengaruh pada konsentrasi polutan di udara . peningkatan suhu udara mengakibatkan nilai emisi akan meningkat, sedangkan kecepatan angin yang semakin meningkat akan menyebabkan nilai emisi di udara akan berkurang akibat terjadi pengenceran konsentrasi di udara.

2.6 Konsep *Box Model* untuk Analisis Perubahan Massa CO₂

Menurut Nevers (2000), nilai reduksi CO₂ udara ambien dapat dianalisis menggunakan konsep *model box*. Konsep *box model* sederhana disajikan pada Gambar 2.6. Beberapa pendekatan untuk analisis massa dengan *model box* yaitu:

- a. *Model box* menerapkan hukum kekekalan massa, dimana massa di dalam box tetap dan tidak terpengaruh aktivitas di dalam box.
- b. Konsentrasi box terwakili pada pusat box. Udara di dalam box diasumsikan teraduk sempurna sehingga konsentrasi di dalam box setara.
- c. Kecepatan angin diasumsikan rata tegak lurus pada dinding box.

- d. Dimensi (L_x , L_y , L_z) box secara spasial tergantung pada arah angin (α), kecepatan angin (v) dan rentang waktu perubahan (Δt)

Dengan hukum kekekalan massa, massa di dalam box (Δm) adalah:

$$\Delta m = m_{in} - m_{out} + m_{emisi} - m_{reduksi} \dots \dots \dots (1)$$

dimana,

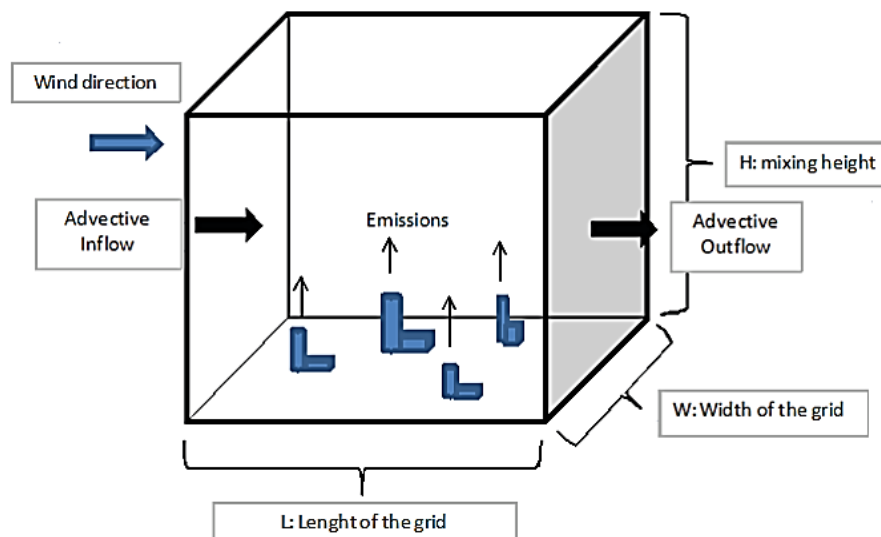
Δm = perubahan massa di dalam box untuk periode Δt

m_{in} = massa masuk box dalam waktu Δt

m_{out} = massa keluar box dalam waktu Δt

m_{emisi} = emisi massa di dalam box dalam waktu Δt

$m_{reduksi}$ = reduksi massa di dalam box dalam waktu Δt



Gambar 2. 6 *Box model* sederhana (Kuzu, dkk., 2013)

2.7 Analisis Nilai Kumulatif CO₂ Udara Ambien

Nilai kumulatif konsentrasi CO₂ udara ambien selama satu periode (Net_CO_2) dapat digunakan sebagai indikator proses reduksi CO₂. Jika nilai Net_CO_2 bertanda negatif (-), artinya reduksi CO₂ lebih besar dari emisi CO₂. Jika nilai Net_CO_2 bertanda (+), artinya reduksi CO₂ lebih kecil dari emisi CO₂. Nilai CO₂ sama dengan nol (0) artinya proses reduksi maupun emisi CO₂ udara ambien berjalan seimbang. Dengan menghitung nilai kumulatif konsentrasi CO₂ sebagai

indikator besarnya reduksi CO₂ udara ambien oleh RTH, maka dapat diketahui ketercukupan RTH pada area tersebut.

Massa polutan udara per volume udara ambien [$\frac{m}{v}$] atau konsentrasi polutan (C), adalah:

$$C = \frac{\Delta m}{\Delta V} \dots \dots \dots (2)$$

dimana,

Δm = massa emisi CO₂ udara

ΔV = volume udara ambien

Data konsentrasi CO₂ per 1 menit selama 12 jam dianalisis untuk mendapatkan nilai kumulatif CO₂ udara ambien (K). Penelitian yang dilakukan Santoso dan Mangkoedihardjo (2012) menjelaskan cara mencari nilai kumulatif konsentrasi CO₂ sebagai indikator reduksi CO₂. Konsentrasi CO₂ di satu lokasi mengalami perubahan tiap saat (t). Nilai laju perubahan konsentrasi udara ambien selama satu rentang waktu atau K adalah:

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta t} \dots \dots \dots (3)$$

dimana,

K = kumulatif konsentrasi selama n periode

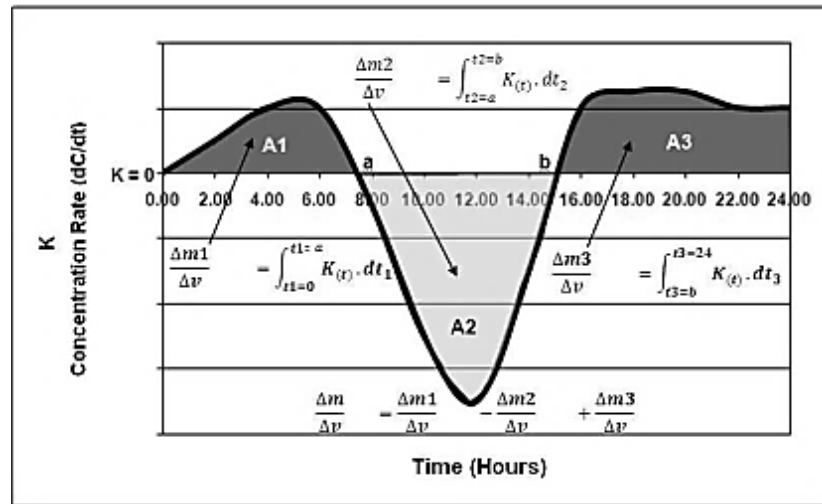
ΔC = perubahan konsentrasi CO₂

Δt = rentang waktu perubahan konsentrasi

ΔC adalah perubahan konsentrasi CO₂ selama satu rentang waktu (Δt). Nilai laju perubahan konsentrasi (K) bisa dinyatakan dengan $\int \frac{\Delta C}{\Delta t}$. Kumulatif konsentrasi CO₂ udara ambien selama satu periode didapatkan dari integrasi kurva laju perubahan konsentrasi selama satu periode. Kumulatif konsentrasi CO₂ setara dengan luasan antara kurva $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ dengan garis [$\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0$].

Gambar 2.7 menunjukkan luasan diatas kurva (A1+A3) bertanda positif (+), artinya konsentrasi CO₂ udara ambien bertambah. Luasan dibawah kurva (A2) bertanda negatif (-), artinya konsentrasi CO₂ udara ambien berkurang (Santoso dan

Mangkoedihardjo, 2012). Nilai kumulatif konsentrasi CO₂ udara ambien selama periode $n = (K)$ adalah jumlah penambahan dan pengurangan konsentrasi CO₂ udara ambien selama periode tersebut atau nilai $K = A1 + A3 - A2$.



Gambar 2. 7 Luasan antara kurva laju perubahan konsentrasi $[\frac{\Delta C}{\Delta t}]$ dan garis $[\frac{\Delta C}{\Delta t} = 0]$ kumulatif konsentrasi CO₂ udara ambien selama waktu n (Santoso dan Otok, 2014).

2.8 Nilai Kumulatif CO₂ untuk Skala Mikro dan Meso

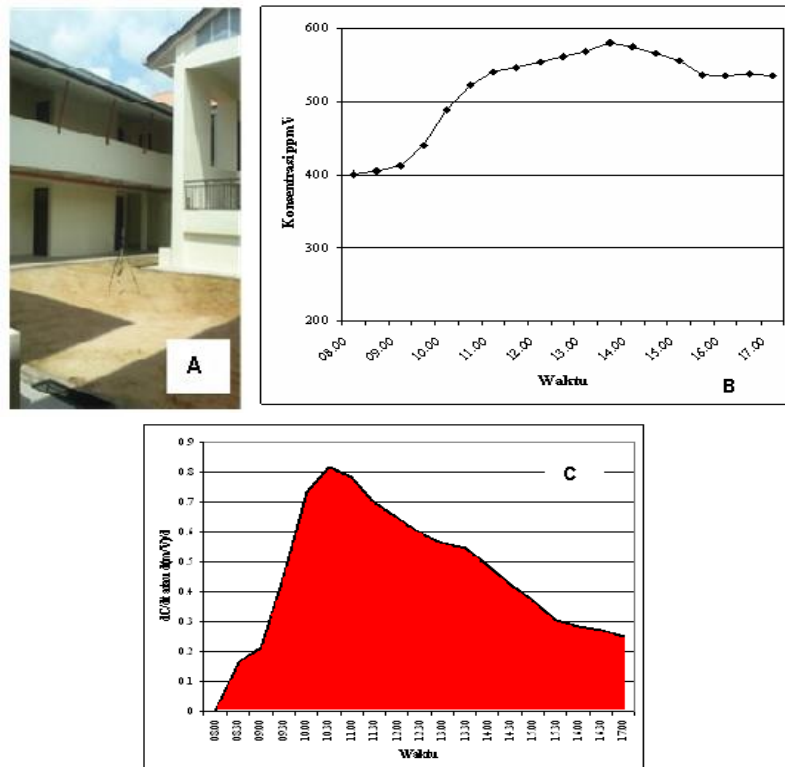
2.8.1 Net_CO₂ Skala Mikro

Penelitian skala mikro untuk mengetahui reduksi konsentrasi CO₂ udara ambien dilakukan oleh Omar (2010) di empat lahan yang memiliki proporsi ruang terbuka hijau yang berbeda. Empat jenis tutupan lahan terdiri dari lahan pertama yaitu lahan tanpa vegetasi, lahan kedua yaitu lahan dengan vegetasi jarang, lahan ketiga yaitu vegetasi berjenis rumput (*single layer*), dan lahan keempat yaitu lahan dengan jenis vegetasi rumput dan tumbuhan (*multi layer*).

2.8.1.1 Lahan tanpa vegetasi

Pada lahan tanpa vegetasi untuk penelitian dengan data seri waktu pukul 08.00 – 17.00 menunjukkan nilai Net_CO₂ sebesar 245 ppm atau bernilai positif (+) yang artinya pada lahan tersebut terjadi proses emisi CO₂ yang lebih besar daripada reduksi CO₂. Lahan tanpa vegetasi mengemisi CO₂ ke udara ambien saat ada sinar matahari karena terjadi proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme

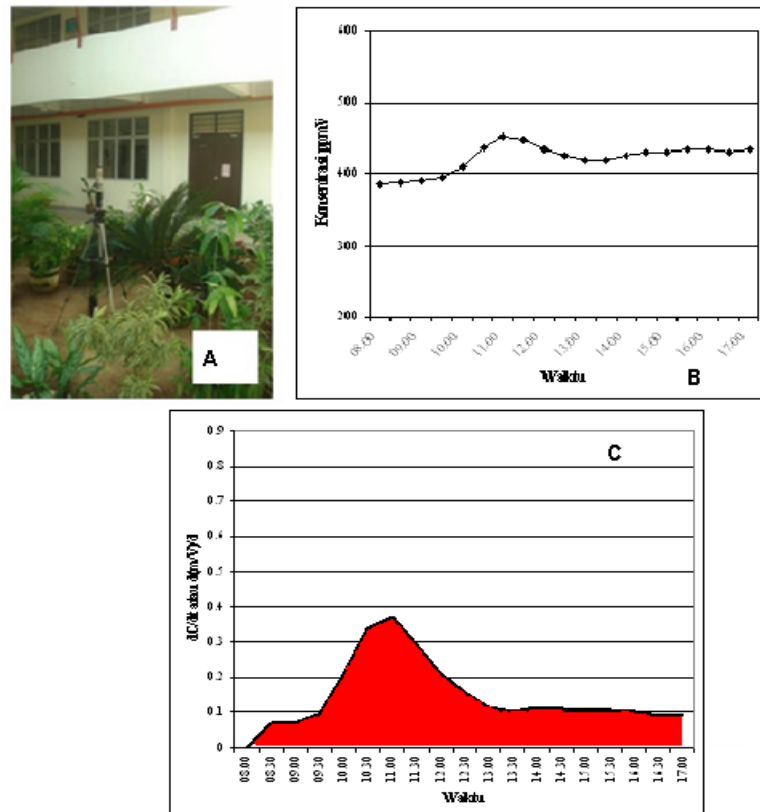
yang ada dalam tanah. Foto lahan tanpa vegetasi dengan data seri waktu konsentrasi CO₂ disajikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 (A) Lahan tanpa vegetasi. (B) Konsentrasi CO₂. (C) Kurva laju konsentrasi dan kumulatif konsentrasi CO₂ (Omar, 2010).

2.8.1.2 Lahan dengan jarak tumbuhan jarang

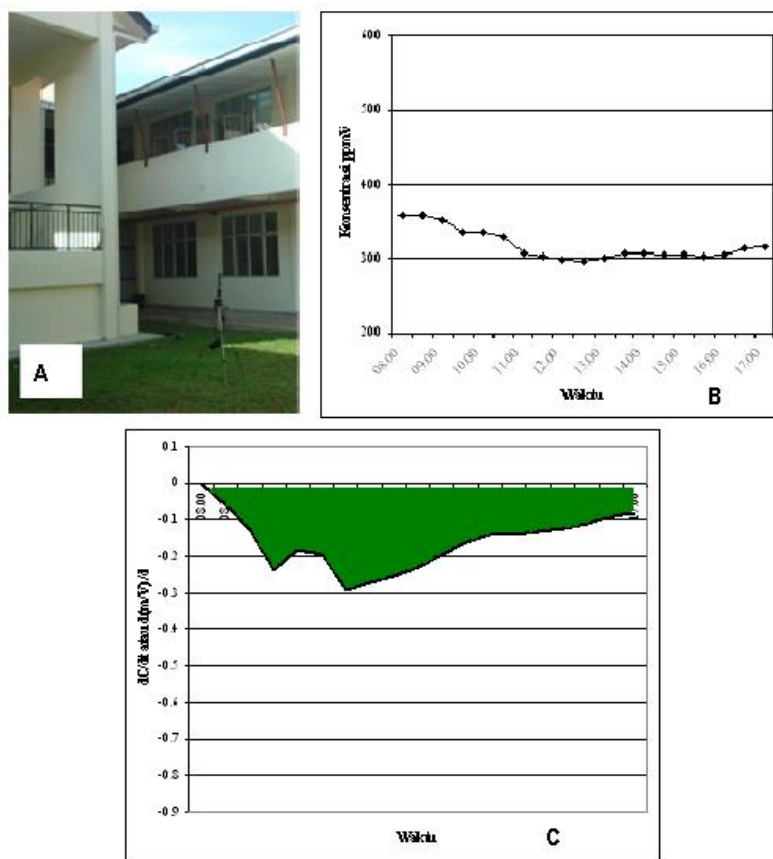
Pada lahan dengan jarak vegetasi jarang untuk penelitian dengan data seri waktu pukul 08.00 – 17.00, menunjukkan nilai Net_CO₂ sebesar 80 ppm atau bernilai positif (+) yang artinya pada lahan tersebut terjadi proses emisi CO₂ yang lebih besar daripada reduksi CO₂, namun tidak sebesar emisi pada lahan tanpa vegetasi. Meskipun tumbuhan yang ada pada lahan tersebut mampu menyerap CO₂, tetapi daun yang runtuh dan akar yang tidak berguna akan didekomposisi mengeluarkan CO₂ menuju udara ambien (Stockmann, dkk., 2013). Pada lahan tersebut proses dekomposisi lebih dominan dibanding proses reduksi CO₂ oleh tumbuhan, sehingga nilai kumulatif konsentrasi CO₂ bernilai positif (+). Foto lahan berjarak vegetasi jarang dengan data seri waktu konsentrasi CO₂ disajikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 (A) Lahan dengan vegetasi jarang. (B) Konsentrasi CO₂. (C) Kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ (Omar, 2010).

2.8.1.3 Lahan dengan vegetasi *single layer* (rumput)

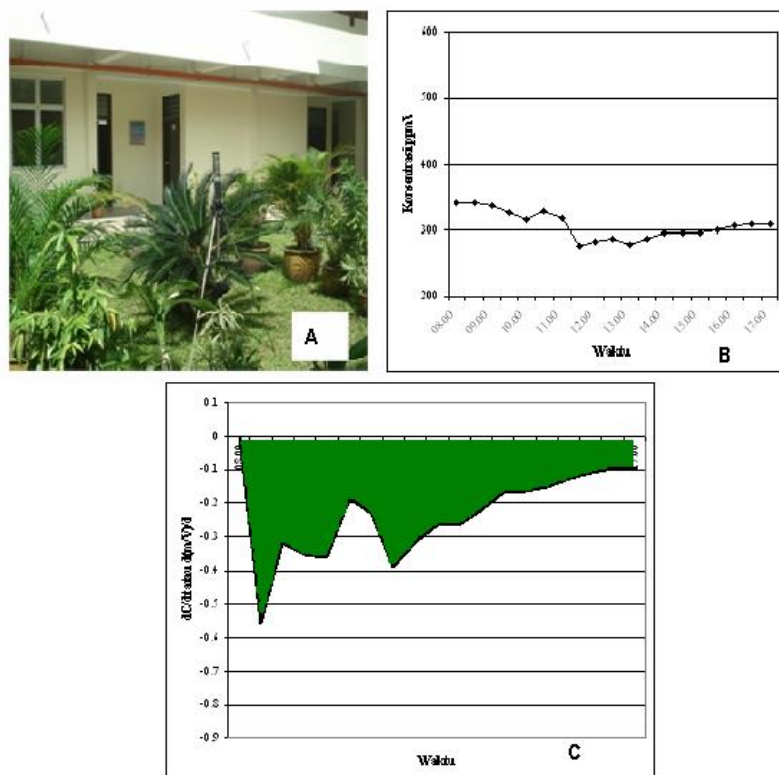
Pada lahan dengan vegetasi *single layer* (rumput) untuk penelitian dengan data seri waktu pukul 08.00 – 17.00, menunjukkan nilai Net_CO₂ sebesar –176 ppm atau bernilai negatif (–) yang artinya pada lahan tersebut terjadi proses reduksi CO₂ yang lebih besar daripada emisi CO₂. Lahan dengan vegetasi *single layer* mampu menyerap CO₂ dari udara ambien dengan indikator nilai kumulatif konsentrasi CO₂ bernilai negatif (–). Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Stockmann, dkk (2013) dimana pada lahan bervegetasi, proses dekomposisi kurang dominan dibanding proses serapan CO₂ oleh tumbuhan, sehingga nilai kumulatif konsentrasi CO₂ bernilai negatif (–). Foto lahan bervegetasi *single layer* (rumput) dengan data seri waktu konsentrasi CO₂ disajikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 (A) Lahan dengan vegetasi rumput. (B) Konsentrasi CO₂. (C) Kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ (Omar, 2010).

2.8.1.4 Lahan dengan vegetasi *multi layer* (rumput dan tanaman)

Pada lahan dengan vegetasi *multi layer* (rumput dan tanaman) untuk penelitian dengan data seri waktu pukul 08.00 – 17.00, menunjukkan nilai Net_CO₂ sebesar –256 ppm atau bernilai negatif (–) yang artinya pada lahan tersebut terjadi proses reduksi CO₂ yang lebih besar daripada emisi CO₂. Lahan dengan vegetasi *multi layer* mampu menyerap CO₂ dari udara ambien lebih besar daripada lahan dengan vegetasi *single layer* dengan indikator nilai kumulatif konsentrasi CO₂ bernilai negatif (–). Kondisi tersebut sesuai dengan penelitian Stockmann, dkk (2013) dimana pada lahan bervegetasi, proses dekomposisi kurang dominan dibanding proses serapan CO₂ oleh tumbuhan, sehingga nilai kumulatif konsentrasi CO₂ bernilai negatif (–). Foto lahan bervegetasi *multi layer* (rumput+tumbuhan) dengan data seri waktu konsentrasi CO₂ disajikan pada Gambar 2.11.



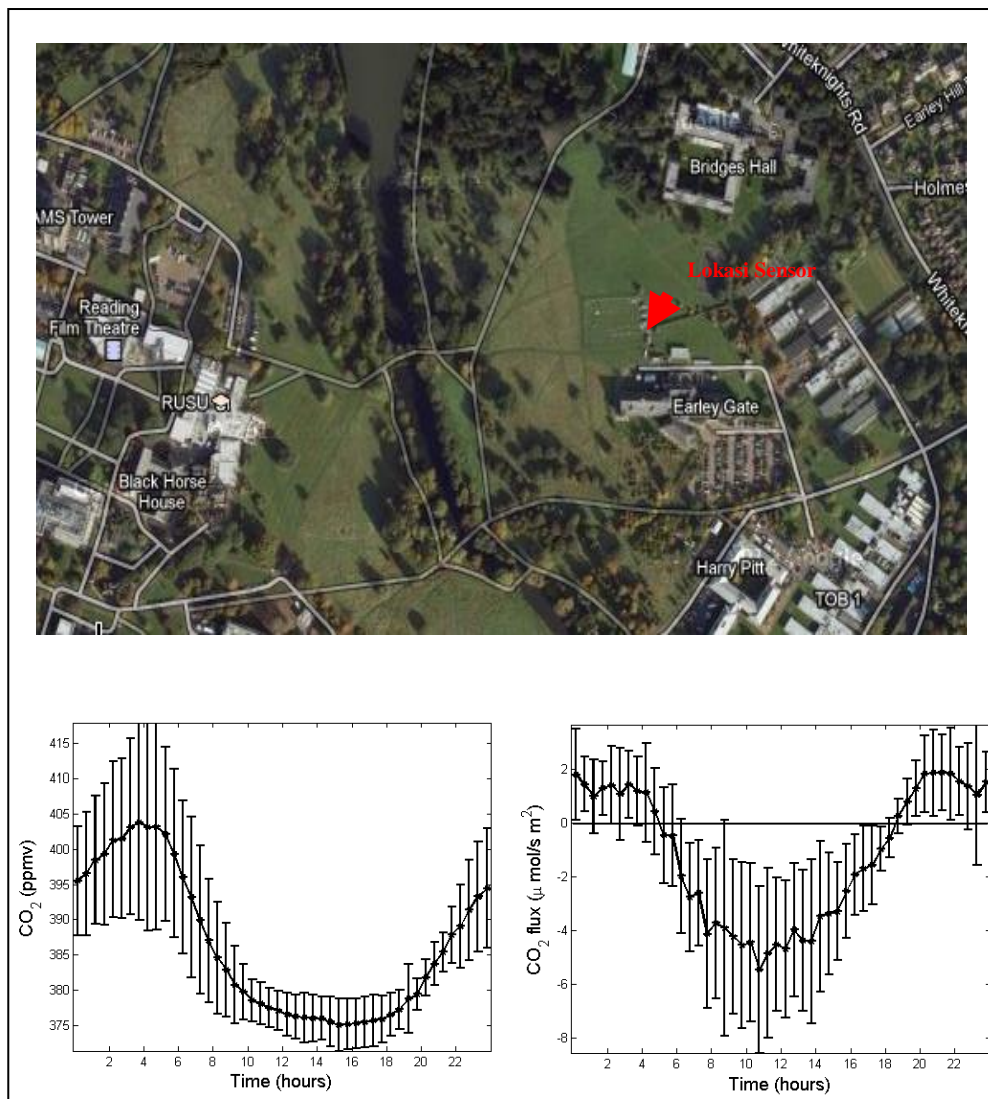
Gambar 2. 11 (A) Lahan vegetasi multi layer. (B) Konsentrasi CO_2 . (C) Kurva laju konsentrasi CO_2 dan kumulatif konsentrasi CO_2 (Omar, 2010).

2.8.2 Net_ CO_2 Skala Meso

Penelitian skala meso untuk mengetahui reduksi konsentrasi CO_2 udara ambien dilakukan pada beberapa lokasi perkotaan di beberapa negara, antara lain:

2.8.2.1 Lokasi Universitas Reading di UK

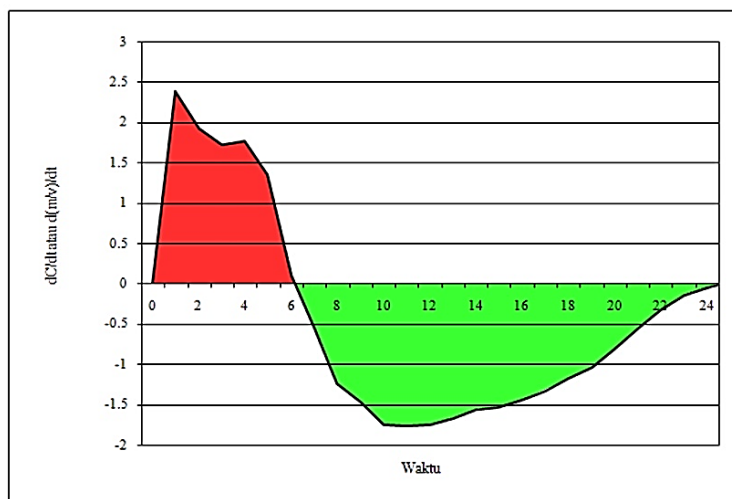
Penelitian oleh Van Damme (2010) terhadap fluk CO_2 dan konsentrasi CO_2 dilakukan di Observatorium Atmosfer Universitas Reading-UK, pada ketinggian 66 m di atas permukaan laut. Lokasi berjarak ± 2 km ke selatan-timur dari pusat Kota Reading. Lokasi berjarak 2,3 km ke utara dari jalan raya. Jalan umum terdekat adalah ± 240 m ke arah Timur dari lokasi pengamatan. Lokasi pengukuran didominasi oleh rumput dan pohon atau ruang terbuka hijau. Lokasi pengukuran di daerah terbuka yang dikelilingi vegetasi yang luas dan beragam diselingi dengan bangunan dan sebuah danau kecil 200 m dari lokasi. Lokasi pengukuran dan hasil pengukuran konsentrasi CO_2 dan fluk CO_2 disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Lokasi pengukuran, kurva konsentrasi CO₂ dan kurva fluk CO₂ (Van Damme, 2010)

Grafik tersebut menunjukkan konsentrasi CO₂ mengalami fluktuasi sesuai dengan nilai fluk CO₂. Pukul 0.00 – 5.00 nilai fluk positif, artinya nilai konsentrasi meningkat. Pukul 5.00 – 11.00 nilai fluk negatif, artinya nilai konsentrasi menurun. Pukul 11.00 – 14.00 nilai fluk konstan negatif, artinya konsentrasi mengalami penurunan tapi dengan nilai kecil. Pukul 14.00 – 18.00 nilai fluk tetap negatif tapi mengalami penurunan, konsentrasi mengalami kenaikan. Pukul 18.00 – 24.00 nilai fluk positif, artinya konsentrasi mengalami kenaikan. Dari grafik di atas terlihat ada pengaruh signifikan fluk pada konsentrasi, arah positif konsentrasi naik, sebaliknya arah negatif konsentrasi turun. Data seri waktu konsentrasi CO₂ pada Gambar 2.12

dianalisis dengan metode yang telah dibahas pada sub bab 2.7, dan menghasilkan kurva laju konsentrasi CO₂ dan nilai kumulatif konsentrasi CO₂ pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Kurva laju konsentrasi CO₂ dan nilai kumulatif konsentrasi CO₂ selama 24 jam Universitas Reading-UK

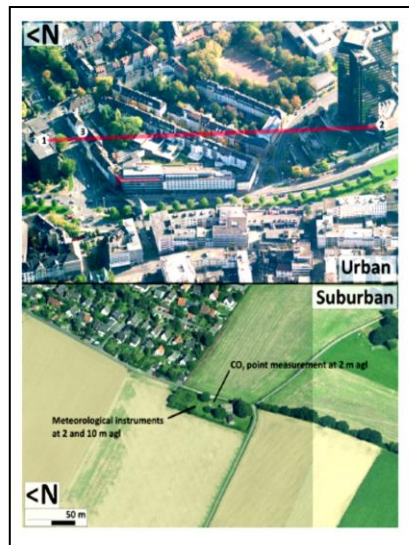
Grafik tersebut menunjukkan bahwa proses emisi CO₂ terjadi pada waktu pagi hari yaitu pukul 0.00 – 07.00. Sedangkan pada pukul 08.00 – 24.00 terjadi proses reduksi CO₂ dengan nilai Net_ CO₂ sebesar – 11.01 ppm.

2.8.2.2 Lokasi Kota Essen di Negara Jerman

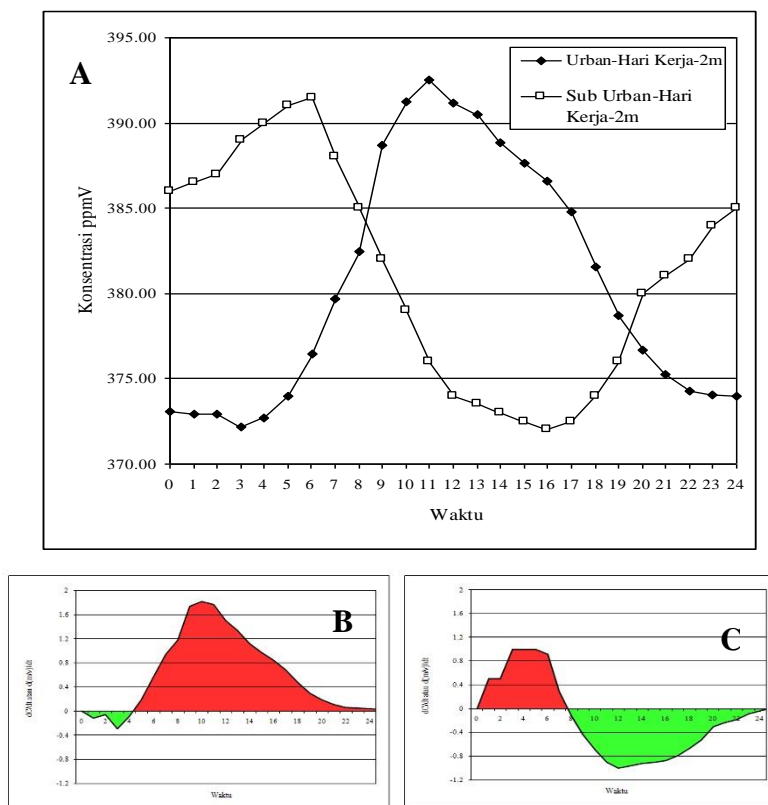
Penelitian oleh Buns dan Kuttler (2012) untuk pengukuran seri waktu konsentrasi CO₂ periode 24 jam di Kota Essen Jerman pada bulan Februari hingga Oktober 2010. Data seri konsentrasi CO₂ terbagi dalam beberapa kriteria yaitu area urban dan sub urban, hari kerja dan hari libur, serta perbedaan ketinggian pengukuran pada 2 meter dan 34 meter.

a. Net_ CO₂ area urban dan sub urban

Diketahui bahwa area urban di Kota Essen Jerman memiliki fraksi vegetasi sebesar 5%, sedangkan area sub urban memiliki fraksi vegetasi sebesar 35% (Gambar 2.14). Data seri waktu konsentrasi CO₂ udara ambien untuk periode 24 jam dianalisis dengan metode seperti pada sub bab 2.7. Kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam disajikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 14 Lokasi pengukuran konsentrasi CO₂ area urban dan sub urban Kota Essen Jerman (Buns dan Kuttler, 2012)

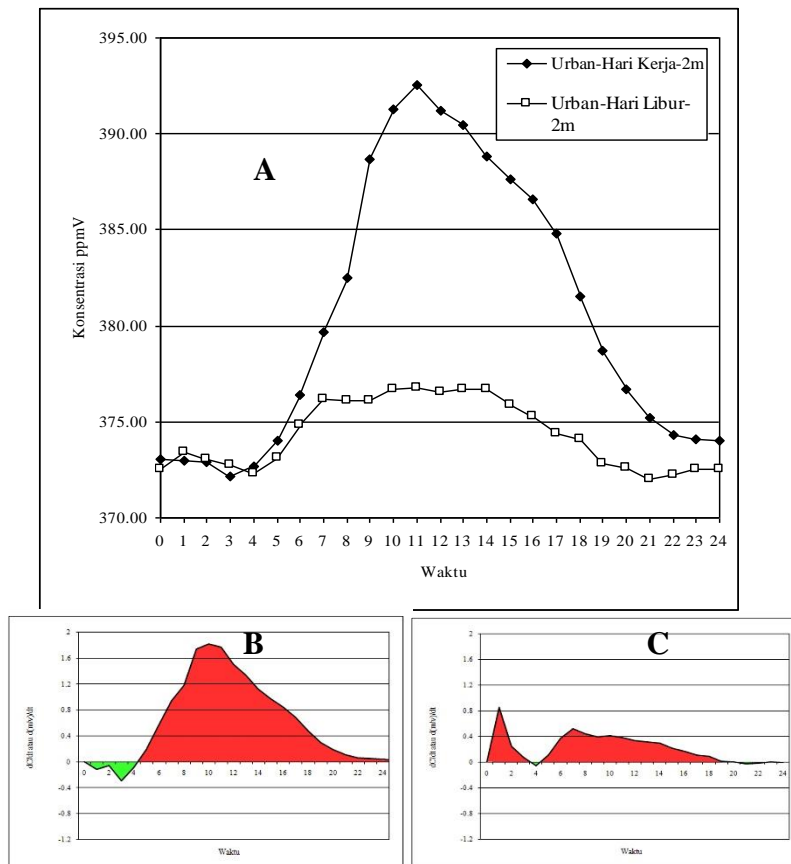


Gambar 2. 15 (A) Konsentrasi CO₂ di area *sub urban* dan *urban* (Buns dan Kuttler, 2012). (B) kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam di area *urban*. (C) kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam di area *sub urban*

Gambar 2.15B dan Gambar 2.15C menunjukkan nilai Net_CO₂ udara ambien untuk periode 24 jam di area *urban* bernilai positif (+) 15,28 ppm (reduksi < emisi), sedangkan di area *sub urban* bernilai negatif (-), -4,45 ppm (reduksi > emisi). Hal tersebut membuktikan bahwa wilayah *sub urban* yang didominasi oleh lahan hijau bisa menyerap CO₂ untuk periode 24 jam.

b. Net_CO₂ area urban hari kerja dan hari libur

Data seri waktu konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam dianalisis dengan metode seperti pada sub bab 2.7. Hasil pengukuran seri waktu konsentrasi CO₂ di area *urban* saat hari kerja dan hari libur pada ketinggian 2 m disajikan pada Gambar 2.16.

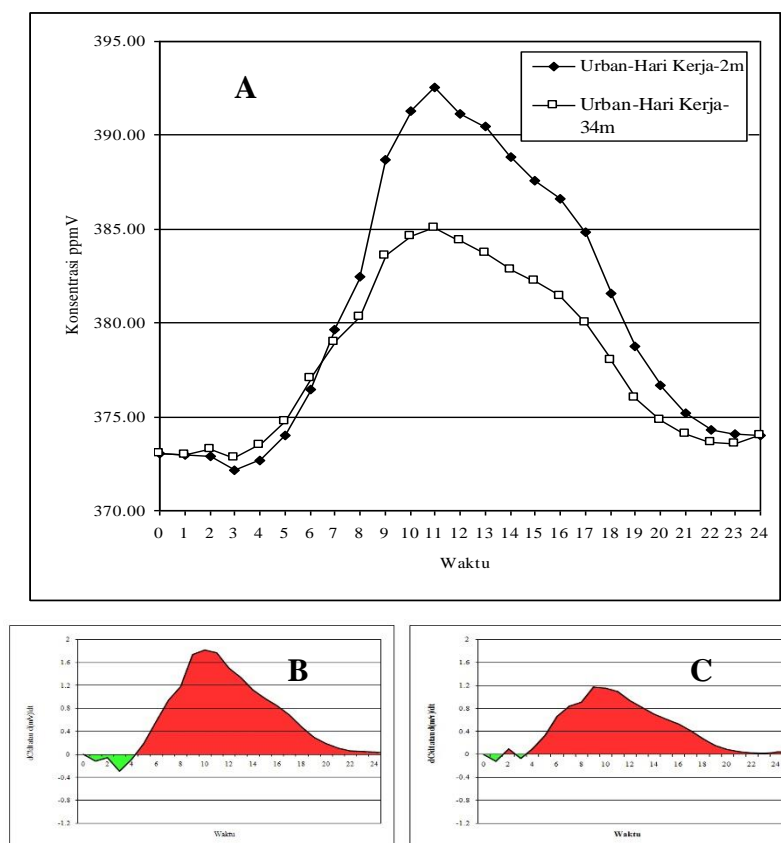


Gambar 2. 16 (A) Konsentrasi CO₂ di area urban saat hari kerja dan hari libur di ketinggian 2 m (Buns dan Kuttler, 2012). (B) kurva laju konsentrasi CO₂ untuk dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam saat hari kerja. (C) kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam saat hari libur

Gambar 2.16B dan Gambar 2.16C menunjukkan nilai Net_CO₂ udara ambien untuk periode 24 jam di area *urban* saat hari kerja bernilai positif (+) 15,28 ppm (reduksi < emisi), sedangkan di area urban saat hari libur juga bernilai positif (+) 5.27 ppm (reduksi < emisi). Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Contini, dkk (2005) bahwa pada hari kerja aktivitas perkotaan meningkat sehingga mengakibatkan massa CO₂ udara ambien akan bertambah.

c. Net_CO₂ ketinggian pengukuran pada 2 meter dan 34 meter

Data seri waktu konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam dianalisis dengan metode seperti pada sub bab 2.7. Hasil pengukuran seri waktu konsentrasi CO₂ di area *urban* pada ketinggian 2 meter (zona *roughness layer*) dan 34 meter (zona *surface layer*) disajikan pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 (A) Konsentrasi CO₂ di area urban saat hari kerja pada ketinggian 2 m dan 34 m (Buns dan Kuttler, 2012). (B) Kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam pada ketinggian 2 m. (C) kurva laju konsentrasi CO₂ dan kumulatif konsentrasi CO₂ untuk periode 24 jam pada ketinggian 34 m

Gambar 2.17B dan Gambar 2.17C menunjukkan nilai Net_CO₂ udara ambien untuk periode 24 jam di area *urban* pada ketinggian 2 meter (zona *roughness layer*) bernilai positif (+) 15,28 ppm (serapan < emisi), dan pada ketinggian 34 meter (zona *surface layer*) bernilai positif (+) 10,80 ppm (serapan < emisi). Pada ketinggian 2 meter, konsentrasi CO₂ lebih tinggi dibanding ketinggian 34 meter. Pada ketinggian 34 meter, kecepatan angin lebih besar dari 2 meter, sehingga dimensi box untuk ketinggian 34 meter lebih besar dibanding ketinggian 2 meter, sehingga konsentrasi CO₂ pada ketinggian 2 meter lebih tinggi dibanding 34 meter. Konsentrasi CO₂ akan mempengaruhi nilai Net_CO₂. Semakin tinggi konsentrasi CO₂, maka akan semakin tinggi nilai Net_CO₂.

2.9 Alat Pengukur Konsentrasi CO₂

Alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi CO₂ adalah CO₂ *meter* merk Lutron tipe GCH-2018. Prinsip kerja dari CO₂ *meter* adalah dengan menggunakan sensor *non-dispersif infra red* (NDIR) yang merupakan perangkat spektroskopik paling sederhana yang biasanya digunakan untuk mengukur CO₂ dalam aplikasi kualitas udara. Konsentrasi gas CO₂ diukur secara elektrooptik dengan penyerapan terhadap panjang gelombang tertentu dalam inframerah (IR). *AQ Pro Air Quality Monitor* dilengkapi dengan sebuah sensor inframerah NDIR standar yang mampu mengukur CO₂ dengan rentang standar 0-5000 ppm (Manual Operation, 2018). Spesifikasi dan gambar alat CO₂ *meter* merk Lutron tipe GCH-2018 disajikan pada Tabel 2.6 dan Gambar 2.18.

Tabel 2. 6 Spesifikasi CO₂ *meter*

CO ₂ (25 ± °C)	Range	0 - 4.000 ppm
	Resolusi	1 ppm
	Tingkat Akurasi	±40 ppm
		≤ 1.000 ppm
		± 5% dari pembacaan
		> 1.000 ppm ≤3.000 ppm
		± 250 ppm typically
		> 3.000 ppm, referensi yang lain

	<i>Repeatability</i>	± 20 ppm ≤ 3.000 ppm
Temperatur	<i>Range</i>	0 °C - 50 °C; 32 °F - 122 °F
	Resolusi	0.1 derajat
	Tingkat Akurasi	°C – 0.8 °C, °F – 1.5 °F

Sumber: *Operation Manual CO₂ meter*, 2018



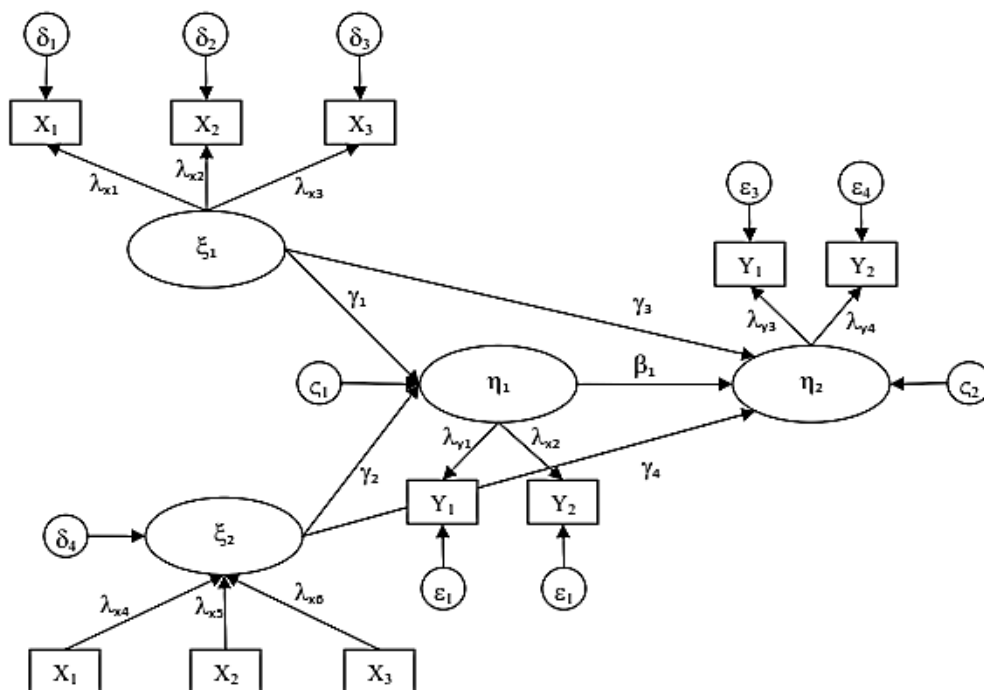
Gambar 2. 18 CO₂ meter merk Lutron tipe GCH-2018

2.10 Analisis *Structural Equation Model* (SEM)

SEM adalah teknik statistik multivarian yang merupakan kombinasi antara analisis faktor dan analisis regresi (korelasi), yang bertujuan untuk menguji hubungan antar-variabel yang ada pada sebuah model, baik hubungan antar-indikator dengan konstraknya ataupun hubungan antar-konstruk (Santoso, 2011). SEM digunakan untuk menguji apakah model yang dibuat berdasar teori tertentu dapat diterima atau ditolak. Dengan kata lain, SEM tidak digunakan untuk membangun sebuah model baru tanpa dasar teori yang sudah ada sebelumnya. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk menguji hubungan antara variable laten dengan variable manifest (persamaan pengukuran), hubungan antara variable laten yang satu dengan variable laten yang lain (persamaan struktural), serta memaparkan kesalahan pengukuran (Sarjono dan Julianita, 2015). Metode SEM memiliki kemampuan analisis dan prediksi yang lebih baik dibandingkan analisis jalur dan regresi berganda karena SEM mampu menganalisis hingga level terdalam terhadap variabel (Ulum, 2014).

Penelitian yang dilakukan Nugroho, dkk., (2006) menghasilkan analisis SEM pada kualitas udara jalan raya di Jakarta untuk variabel jenis polutan dan variabel meteorologi. Variabel polutan antara lain CO, NO₂, ozon, SO₂, dan CO₂. Sedangkan variabel meteorologi meliputi radiasi matahari, curah hujan, arah dan kecepatan angin. Pada penelitian yang lain, Nugroho, dkk., (2010) menggunakan SEM untuk analisis keberadaan bus trans Jakarta dan polutan di Jakarta. Model persamaan terdiri dari variabel sumber emisi polutan, variabel meteorologi dan jenis polutan.

Terdapat dua jenis tipe SEM yang umum digunakan secara luas yaitu *covariance-based structural equation modeling* (CB-SEM) dan *partial least square* (PLS). PLS adalah SEM yang berbasis varian. SEM-PLS dapat digunakan untuk mengatasi hubungan antara variabel (konstruk) yang kompleks dan memiliki ukuran sampel data yang kecil. Contoh permodelan persamaan struktural dan notasi PLS disajikan pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Hubungan antar variabel dan indikator dalam model PLS (Jaya, 2008)

Langkah-langkah pemodelan persamaan struktural berbasis PLS dengan software adalah sebagai berikut (Jaya, 2008):

1. Merancang Model Struktural (inner model)

Perancangan model struktural hubungan antar variabel laten pada PLS didasarkan pada rumusan masalah atau hipotesis penelitian.

2. Merancang Model Pengukuran (outer model)

Perancangan model pengukuran (outer model) dalam PLS sangat penting karena terkait dengan apakah indikator bersifat refleksif atau formatif.

3. Mengkonstruksi diagram Jalur

Bila langkah satu dan dua sudah dilakukan, maka agar hasilnya lebih mudah dipahami, hasil perancangan inner model dan outer model tersebut, selanjutnya dinyatakan dalam bentuk diagram jalur.

4. Konversi diagram Jalur ke dalam Sistem Persamaan

a. *Outer model*

Spesifikasi hubungan antara variabel laten dengan indikatornya, disebut juga dengan outer relation atau measurement model, mendefinisikan karakteristik konstruk dengan variabel manifestnya.

b. *Inner model*

Spesifikasi hubungan antar variabel laten (structural model), disebut juga dengan inner relation, menggambarkan hubungan antar variabel laten berdasarkan teori substantif penelitian. Tanpa kehilangan sifat umumnya, diasumsikan bahwa variabel laten dan indikator atau variabel manifest diskala zero means dan unit varian sama dengan satu, sehingga parameter lokasi (parameter konstanta) dapat dihilangkan dari model.

5. Estimasi

Metode pendugaan parameter (estimasi) di dalam PLS adalah metode kuadrat terkecil (least square methods). Proses perhitungan dilakukan dengan cara iterasi, dimana iterasi akan berhenti jika telah tercapai kondisi konvergen.

6. *Goodness of Fit*

a. *Outer Model*

Convergent validity: Korelasi antara skor indikator refleksif dengan skor variabel latennya. Untuk hal ini loading 0.5 sampai 0.6 dianggap

cukup, pada jumlah indikator per konstruk tidak besar, berkisar antara 3 sampai 7 indikator.

Discriminant validity: Membandingkan nilai square root of average variance extracted (AVE) setiap konstruk dengan korelasi antar konstruk lainnya dalam model, jika square root of average variance extracted (AVE) konstruk lebih besar dari korelasi dengan seluruh konstruk lainnya maka dikatakan memiliki discriminant validity yang baik. Direkomendasikan nilai pengukuran harus lebih besar dari 0.50.

Composite reliability (pc): Kelompok Indikator yang mengukur sebuah variabel memiliki reliabilitas komposit yang baik jika memiliki composite reliability ≥ 0.7 , walaupun bukan merupakan standar absolut.

b. *Inner model*

Goodness of Fit Model diukur menggunakan R-square variabel laten dependen dengan interpretasi yang sama dengan regresi; Q-Square *predictive relevance* untuk model struktural, mengukur seberapa baik nilai observasi dihasilkan oleh model dan juga estimasi parameternya. Nilai Q-square > 0 menunjukkan model memiliki predictive relevance; sebaliknya jika nilai Q-Square ≤ 0 menunjukkan model kurang memiliki *predictive relevance*.

7. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis (β , γ , dan λ) dilakukan dengan metode *resampling Bootstrap* yang dikembangkan oleh Geisser & Stone. Statistik uji yang digunakan adalah statistik t atau uji t, dengan hipotesis statistik sebagai berikut:

Hipotesis statistik untuk *outer model* adalah:

H0 : $\lambda_i = 0$ lawan

H1 : $\lambda_i \neq 0$

Sedangkan hipotesis statistik untuk *inner model*: pengaruh variabel laten eksogen terhadap endogen adalah

H0 : $\gamma_i = 0$ lawan

$$H1 : \gamma_i \neq 0$$

Sedangkan hipotesis statistik untuk *inner model*: pengaruh variabel laten endogen terhadap endogen adalah

$$H0 : \beta_i = 0 \text{ lawan}$$

$$H1 : \beta_i \neq 0$$

Penerapan metode *resampling*, memungkinkan berlakunya data terdistribusi bebas (*distribution free*), tidak memerlukan asumsi distribusi normal, serta tidak memerlukan sampel yang besar. Pengujian dilakukan melalui uji t dengan jumlah sampel *default* yaitu 500 yang memiliki nilai $t = 1,96$ untuk alpha 0,05 (Math Wiki, 2018). Bila diperoleh nilai T_{stat} yang lebih besar dari T_{tabel} , maka data dikatakan valid atau signifikan. Sebaliknya, bila diperoleh nilai T_{stat} yang lebih kecil dari T_{tabel} , maka data dikatakan tidak valid atau tidak signifikan. Bila hasil pengujian hipotesis pada *outter model* signifikan, hal ini menunjukkan bahwa indikator dipandang dapat digunakan sebagai instrumen pengukur variabel laten. Sedangkan bila hasil pengujian pada *inner model* adalah signifikan, maka dapat diartikan bahwa terdapat pengaruh yang bermakna variabel laten terhadap variabel laten lainnya.

BAB 3

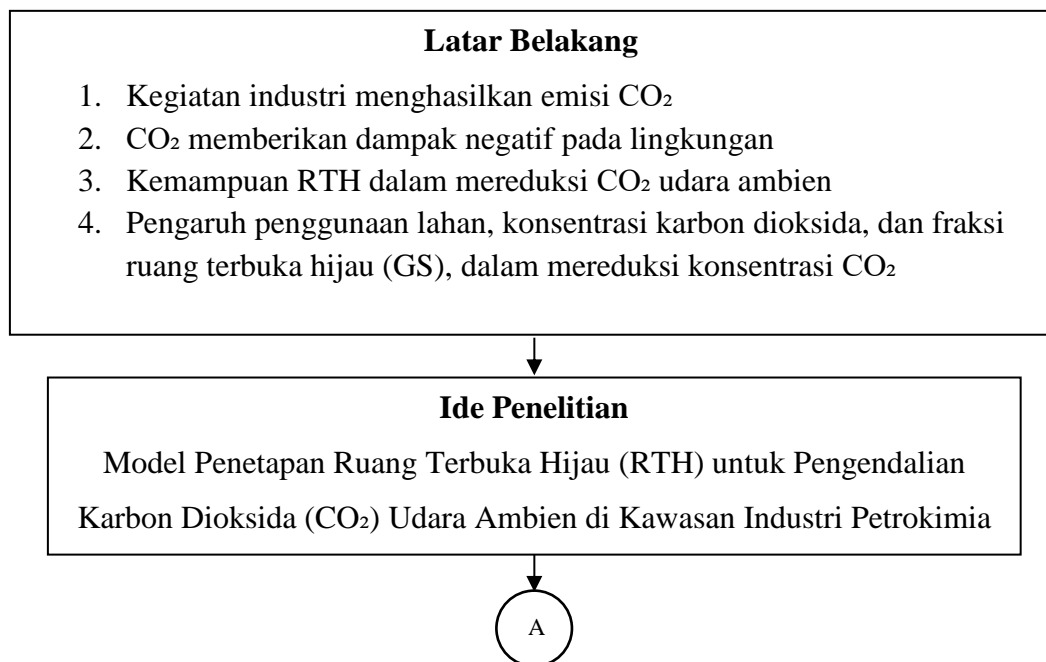
METODE PENELITIAN

3.1 Umum

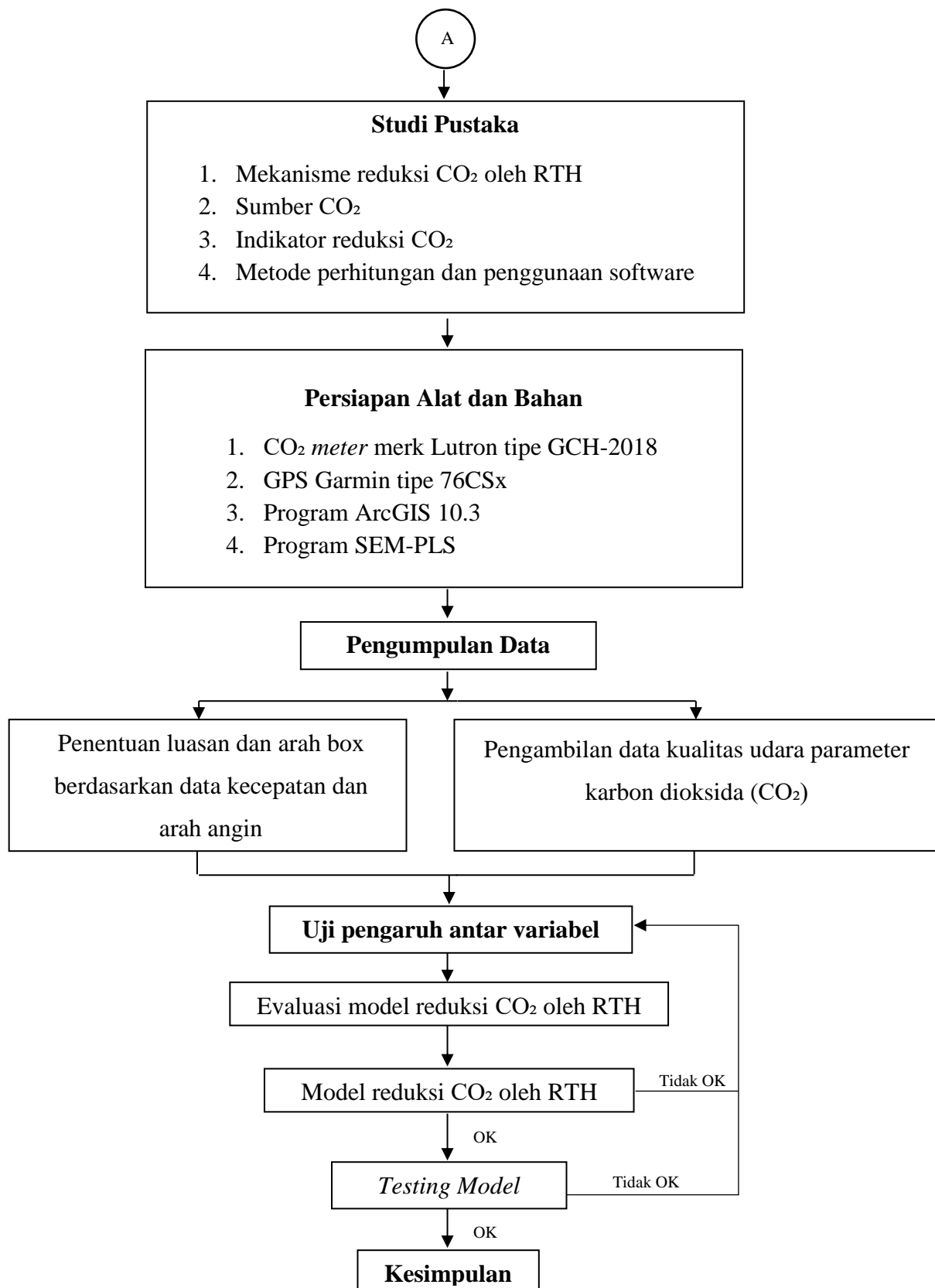
Penelitian ini membahas mengenai model penetapan ruang terbuka hijau untuk pengendalian karbon dioksida udara ambien di kawasan industri petrokimia dengan menggunakan parameter konsentrasi sebagai hasil dari reduksi CO₂ oleh RTH. Area yang digunakan pada penelitian ini yaitu kawasan ruang terbuka hijau di kawasan industri PT Petrokimia Gresik. Pengolahan data bertujuan untuk menghasilkan model RTH sebagai fungsi untuk mereduksi CO₂ udara ambien di industri petrokimia. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO₂), penggunaan lahan (LU), konsentrasi karbon dioksida (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS).

3.2 Kerangka Penelitian

Secara ringkas, tahapan penelitian disajikan pada Gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Kerangka Alur Penelitian



Lanjutan Gambar 3.1 Kerangka Alur Penelitian

3.3 Bahan dan alat

Peralatan yang di gunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. CO₂ meter merk Lutron tipe GCH-2018 untuk mengukur konsentrasi CO₂,
- b. GPS Garmin tipe 76CSx untuk mengetahui data koordinat dan elevasi,
- c. Citra *Google Earth* untuk menghitung luasan RTH dan penggunaan lahan,
- d. Penggunaan program Arc View GIS 10.3 dalam penentuan luasan RTH dan metode perhitungan dengan *Model Box*,
- e. Penggunaan program SEM-PLS dalam penentuan signifikansi indikator dengan nilai Net_CO₂.

3.4 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Petrokomia Gresik yang berlokasi di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Ketersediaan ruang terbuka hijau di suatu kawasan dapat ditentukan berdasarkan jumlah populasi (Dawyer, 1999). Maka dilakukan pendekatan luasan kawasan industri petrokimia sebagai populasi. Penentuan populasi, sesuai penelitian Santoso dan Otok (2014), didapatkan melalui persamaan:

$$N = A/A_i \dots \dots \dots (4)$$

dimana,

N = jumlah populasi

A = luas kawasan industri petrokimia (m²)

A_i = luas ruang yang mewakili pengukuran konsentrasi (m²)

Digunakan konsep *box model* sebagai dasar untuk menentukan luas ruang. Arah dan kecepatan angin mempengaruhi unit analisis. Ukuran *box* ditentukan oleh rata-rata kecepatan angin (V_r) dan perubahan konsentrasi dalam satu waktu (Δt). Sementara arah *box* ditentukan berdasarkan arah angin dominan. Luas unit analisis setiap waktu akan berubah, dimana luas unit akan ditentukan oleh kecepatan angin rata-rata dan arah unit analisis ditentukan oleh arah angin. Titik pusat unit analisis adalah titik lokasi sampling yang telah ditentukan koordinatnya. Gambar 3.2 menunjukkan ilustrasi penentuan unit analisis. Menentukan ukuran *box* dari kecepatan angin dan selang waktu (Δt) menurut Santoso dan Otok (2014) menggunakan persamaan:

$$V_r = V_{t1} + V_{t2} + V_{t3} + \dots + V_{tn} \dots \dots \dots (5)$$

$$L = V_r \times \Delta t \dots \dots \dots (6)$$

$$A_i = L^2 \dots \dots \dots (7)$$

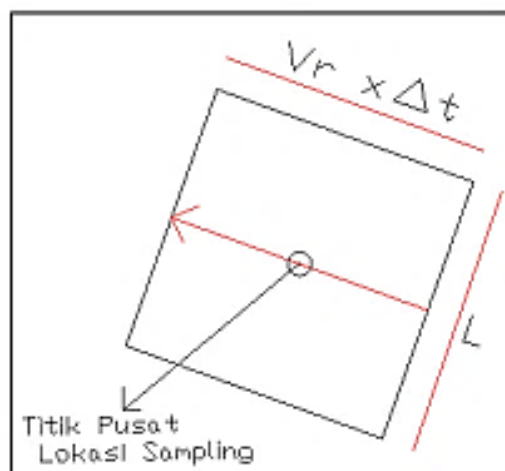
dimana,

L = panjang unit analisis (panjang box) (m)

A_i = luas unit analisis (m^2)

V_r = kecepatan angin rata-rata (m/s)

Δt = waktu pengambilan sampel (1 menit = 60 detik)



Gambar 3. 2 Penentuan unit analisis

Teknik pengambilan sampel secara umum dibagi menjadi dua yaitu, *probability sampling* dan *non-probability sampling*. Sesuai penelitian oleh Santoso dan Otok (2014), salah satu teknik dalam pengambilan sampel probabilitas adalah dengan teknik sampling acak sederhana. Ukuran sampel untuk sampling acak sederhana didapatkan melalui persamaan:

$$n = \frac{(Z\alpha/2)^2 p(1-p)N}{d^2(N-1) + (Z\alpha/2)^2 p(1-p)} \dots \dots \dots (8)$$

dimana,

n = ukuran sampel

$Z\alpha/2$ = nilai distribusi normal standar

p = tingkat signifikansi (derajat kepercayaan)

N = jumlah populasi

d = tingkat kesalahan ukuran sampel

PT Petrokimia Gresik memiliki luas area sebesar 450 ha dengan data pengukuran kecepatan angin rata-rata sebesar 0,5 m/s dan arah angin dominan 270° atau dari barat (Data Petrokimia, 2016). Data meteorologi berupa kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan jumlah lokasi pengambilan sampel pada suatu area. Sehingga dapat dilakukan perhitungan lokasi sampling sebagai berikut:

$$N = A/A_i = A/L^2 = A/(V_r \times \Delta t)^2$$

$$N = \frac{4500000 \text{ m}^2}{(0,5 \text{ m/s} \times 60 \text{ s})^2}$$

$$N = 5000 \text{ box}$$

Dengan tingkat signifikansi (p) sebesar 90%, tingkat kesalahan ukuran sampel (d) 0,10 dan nilai distribusi normal standar ($Z_{\alpha/2}$) 1,645 maka didapatkan ukuran sampel sebagai berikut:

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 p(1-p)N}{d^2(N-1) + (Z_{\alpha/2})^2 p(1-p)}$$

$$n = \frac{(1,645)^2 0,9 (1-0,9) 5000}{0,10^2 (5000-1) + (1,645)^2 0,9 (1-0,9)}$$

$$n = 24,24$$

$$= 25 \text{ lokasi sampling}$$

Penentuan ke-25 lokasi untuk membangun model dibagi menjadi 5 (lima) *cluster* yaitu:

Cluster I : 5 lokasi pada perumahan karyawan PT Petrokimia Gresik

Cluster II : 5 lokasi pada sarana olahraga dan hutan Petrokimia

Cluster III : 5 lokasi pada *plant I*

Cluster IV : 5 lokasi pada *plant II*

Cluster V : 5 lokasi pada *plant III*

Lokasi untuk *testing model* berjumlah sama seperti pada konstruk model yaitu 5 (lima) lokasi yang mewakili pada masing-masing *cluster*, sehingga lokasi untuk *testing model* berjumlah 25 lokasi. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Lokasi Kawasan Industri PT Petrokimia Gresik



3.5 Variabel dan Indikator Penelitian

Variabel yang menjadi objek pada penelitian ini adalah:

- a. Variabel teramati: nilai reduksi karbon dioksida udara ambien (Net_CO_2),
- b. Variabel laten:
 - Variabel penggunaan lahan (LU) terdiri dari parameter: proporsi lahan non RTH (Lnrth), proporsi perumahan (Lr), proporsi pabrik (Lp), dan proporsi perkantoran (Lk),
 - Variabel fraksi ruang terbuka hijau (GS) terdiri dari parameter: proporsi luas pohon (P), proporsi luas perdu (D), dan proporsi luas rumput (R).
 - Variabel konsentrasi karbon dioksida (C) terdiri dari parameter: konsentrasi minimum (Cmin), konsentrasi maksimum (Cmax) dan konsentrasi rata-rata (Cave),

3.6 Tahapan Penelitian

Penelitian terdiri dari 5 (lima) tahap yaitu:

3.6.1 Tahap Persiapan

- a. Studi literatur untuk menentukan indikator proses reduksi CO_2 udara ambien (Net_CO_2) dan metoda perhitungan indikator tersebut,
- b. Menyiapkan data sekunder yaitu citra terektifitas lokasi yang di-*capture* dari *Google Earth*, data arah dan kecepatan angin, temperatur dan kelembaban udara pada kondisi yang terwakili citra.

3.6.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan agar dapat menentukan nilai konsentrasi reduksi CO_2 oleh RTH yang dapat digunakan untuk mengetahui rata-rata dari CO_2 yang mampu direduksi. Pengumpulan data yang dilakukan antara lain:

a. Penentuan hari pengambilan sampel

Hari yang digunakan untuk pengumpulan data adalah pada hari kerja, mengingat hari kerja adalah waktu terjadi emisi CO_2 yang tinggi hal ini sesuai dengan penelitian Buns dan Kuttler, (2012) pada sub-bab 2.8.2.2. Dilakukan pada waktu siang hari dikarenakan penelitian ini bertujuan untuk

mengembangkan model RTH pada kondisi terjelek dan tidak stabil atau kondisi dimana terjadi aktivitas tinggi. Sedangkan pada waktu malam hari adalah kondisi meteorologi stabil sehingga pengaruh meteorologi minim (Jacobson, 2005) dan massa CO₂ hanya berasal dari sumber alamiah. Periode yang ditetapkan adalah 12 jam dengan selang waktu 1 jam dimulai pukul 06.00 dan berakhir pada pukul 18.00.

b. Pengumpulan data primer

Pengukuran konsentrasi CO₂ dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari. Pengukuran untuk waktu perubahan (Δt) selama 1 menit terdiri dari sepuluh kali *scanning* tiap 6 detik. Konsentrasi CO₂ pada saat t menit adalah rata-rata konsentrasi per 6 detik sebanyak sepuluh kali.

$$C_t = \frac{(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10})}{10} \dots\dots\dots(9)$$

Data konsentrasi pagi, siang dan sore diinterpolasi untuk mendapatkan data seri CO₂ selama 12 jam. Pengambilan data untuk konstruksi model dilakukan pada 25 lokasi sampling selama lima hari kerja, dan pengambilan data *testing model* selama lima hari kerja dilakukan pada 25 lokasi sampling di minggu berikutnya. Pengambilan data udara ambien CO₂ menggunakan alat CO₂ *Meter* merk Lutron yang diukur pada ketinggian ± 2 meter, mewakili tinggi rata-rata manusia karena mayoritas kegiatan manusia dilakukan pada ketinggian tersebut sesuai penelitian Buns dan Kuttler, (2012) pada sub-bab 2.8.2.2. Pada ketinggian 2 meter minim pengaruh meteorologi dan dominan terjadi serapan dan emisi CO₂ (Jacobson, 2005).

3.6.3 Delineasi unit analisis

Delineasi unit analisis dilakukan untuk mengetahui proporsi penggunaan lahan ruang terbuka hijau dan penggunaan lahan non ruang terbuka hijau. Perhitungan proporsi penggunaan lahan dilakukan menggunakan *software* ArcGIS 10.3. Langkah-langkah delineasi *box* adalah sebagai berikut:

- a. Buka Autocad, lakukan perintah PL, masukkan koordinat lokasi pengambilan sampel dan panjang sisi box
- b. Simpan file autocad sesuai dengan tanggal atau lokasi pengambilan sampel

- c. Buka *global mapper*, drag file autocad yang telah disimpan. Masukkan koordinat kota Gresik -49 (108°E-114°E), simpan dengan format .KMZ
- d. Buka *google earth*, kemudian buka folder dari *global mapper*. Delineasi *box* akan terbentuk, kemudian simpan gambar.
- e. Buka kembali *global mapper*, masukkan gambar dari *google earth*, kemudian lakukan retifikasi dengan menentukan empat titik di sekitar lokasi *box* dengan koordinat pada *google earth*. Simpan dalam format .BIL
- f. Buka Arcview, atur *properties* dan satuan
- g. Buka file .BIL tadi, lalu lakukan plot kawasan yang merupakan RTH, jalan, kantor, rumah, dan lainnya
- h. Lakukan kalkulasi pada opsi *field* pada menu *open theme table*
- i. Salin hasil kalkulasi ke microsoft excel, dan lakukan penjumlahan sehingga didapatkan luas delineasi lahan.

3.6.4 Tahap Membangun Model

Pada tahap ini dilakukan analisis hubungan antar indikator dengan variabel teramati (Net_CO₂) di 25 lokasi. Indikator yang berpengaruh digunakan untuk membangun model reduksi CO₂ udara ambien oleh RTH. Tahap ini terdiri dari 6 (enam) kegiatan yaitu:

- a. Menentukan area terwakili titik sampling (unit analisis) dengan menggunakan data arah dan kecepatan angin rata-rata,
- b. Delineasi ruang terbuka hijau pada setiap lokasi,
- c. Menentukan luasan masing-masing titik sampling,
- d. Menghitung konsentrasi CO₂ rata-rata,
- e. Menghitung nilai Net_CO₂ setiap unit analisis
- f. Analisis hubungan signifikansi antara indikator dengan nilai Net_CO₂ menggunakan program SEM-PLS

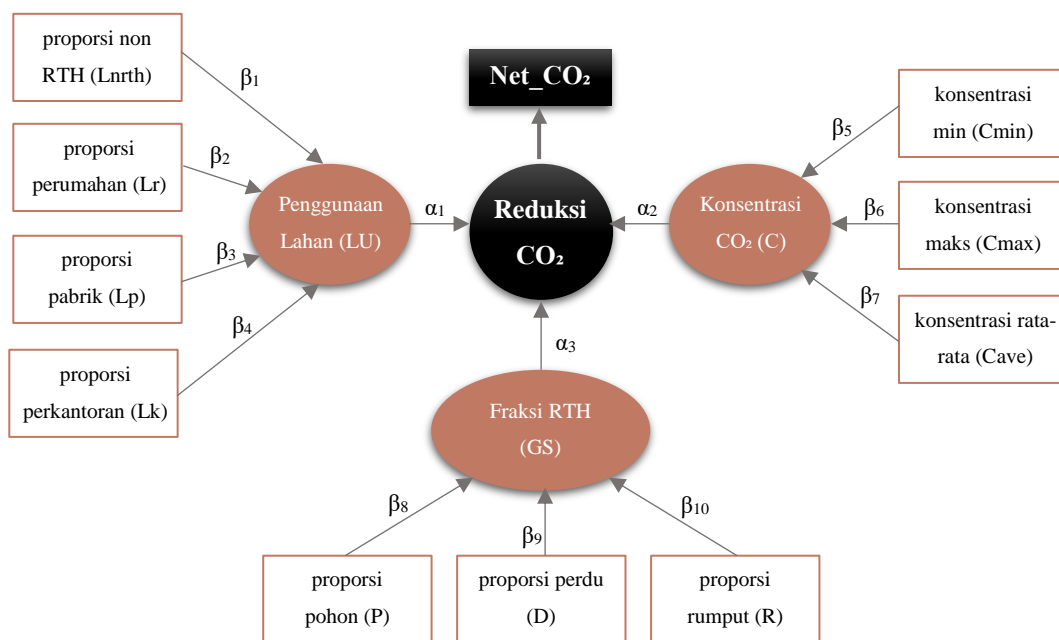
3.6.5 Tahap Testing Model

Pada tahap ini dilakukan *testing model* yang telah dibangun sebelumnya. *Testing model* ini digunakan untuk mengukur hubungan yang mungkin ada antar dua variabel. Data konsentrasi 25 lokasi untuk *testing model* diinput ke dalam model persamaan yang telah dibangun. *Testing model* ditetapkan dari nilai korelasi antara nilai Net_CO₂ dari konstruk model dengan nilai Net_CO₂ dari observasi

testing model. Hasil konstruk model dan hasil *testing model* akan dianalisis dengan menghitung nilai R^2 dan uji t. Model dikatakan akurat jika memiliki nilai $R^2 > 0,6$ (Arifin, 2005).

3.7 Model Reduksi CO₂ udara ambien

Diagram pola hubungan antar variabel-indikator, kode variabel dan indikator disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Diagram pola hubungan antar variabel-indikator dan pengkodean

Diagram di atas memiliki arti untuk mendapatkan model matematis penetapan ruang terbuka hijau dari nilai reduksi CO₂, perlu dicari korelasi antar variabel yang dapat mempengaruhi nilai reduksi dan emisi CO₂. Adapun reduksi CO₂ dipengaruhi oleh penggunaan lahan: luas jalan, luas perumahan, luas pabrik, dan luas perkantoran; fraksi RTH: luas pohon, luas perdu, dan luas rumput; serta konsentrasi CO₂ pada konsentrasi minimum, maksimum, dan rata-rata. Hasil dari korelasi antar variabel tersebut terhadap nilai reduksi CO₂ adalah model matematis penetapan ruang terbuka hijau untuk mereduksi karbon dioksida udara ambien di kawasan industri petrokimia.

Model reduksi CO₂ udara ambien oleh RTH adalah:

$$\text{Net_CO}_2 = \alpha_1.\text{LU} + \alpha_2.\text{C} + \alpha_3.\text{GS} \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{LU} = \beta_1.\text{Lnrth} + \beta_2.\text{Lr} + \beta_3.\text{Lp} + \beta_4.\text{Lk} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{C} = \beta_5.\text{Cmin} + \beta_6.\text{Cmax} + \beta_7.\text{Cave} \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{GS} = \beta_8.\text{P} + \beta_9.\text{D} + \beta_{10}.\text{R} \dots\dots\dots(13)$$

dimana,

Net_CO_2 = nilai reduksi CO_2 oleh RTH

LU = penggunaan lahan

C = konsentrasi karbon dioksida

GS = fraksi ruang terbuka hijau

Lnrth = proporsi lahan non ruang hijau

Lr = proporsi perumahan

Lp = proporsi pabrik

Lk = proporsi perkantoran

Cmin = konsentrasi minimum

Cmax = konsentrasi maksimum

Cave = konsentrasi rata-rata

P = proporsi luas pohon

D = proporsi luas perdu

R = proporsi luas rumput

α_1 = koefisien variabel penggunaan lahan terhadap nilai Net_CO_2

α_2 = koefisien variabel konsentrasi karbon dioksida terhadap nilai Net_CO_2

α_3 = koefisien variabel fraksi ruang terbuka hijau terhadap nilai Net_CO_2

β_1 = koefisien indikator proporsi jalan

β_2 = koefisien indikator proporsi perumahan

β_3 = koefisien indikator proporsi pabrik

β_4 = koefisien indikator proporsi perkantoran

β_5 = koefisien indikator konsentrasi minimum

β_6 = koefisien indikator konsentrasi maksimum

β_7 = koefisien indikator konsentrasi rata-rata

β_8 = koefisien indikator proporsi luas pohon

β_9 = koefisien indikator proporsi luas perdu

β_{10} = koefisien indikator proporsi luas rumput

3.8 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil penelitian yang menjawab perumusan masalah penelitian. Saran yang diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut. Adapun output penelitian ini adalah:

- a. Korelasi antara penggunaan lahan, konsentrasi karbon dioksida, dan karakteristik ruang terbuka hijau terhadap nilai reduksi CO₂ udara ambien,
- b. Model matematis penetapan ruang terbuka hijau untuk mereduksi karbon dioksida udara ambien di kawasan industri petrokimia.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data Konsentrasi CO₂ (C)

4.1.1 Penentuan Lokasi Pengambilan Data

Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengkaji kemampuan vegetasi dalam mereduksi karbon dioksida udara ambien di ruang terbuka hijau di kawasan industri petrokimia. Pengambilan data dilakukan pada hari kerja, karena hari kerja adalah waktu dimana terjadi emisi CO₂ yang tinggi (Buns dan Kuttler, 2012). Dilakukan pada waktu siang hari dikarenakan penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model RTH pada kondisi terjelek atau kondisi dimana terjadi aktivitas tinggi. Sedangkan pada waktu malam hari adalah kondisi stabil dimana pengaruh meteorologi minim (Jacobson, 2005). Lokasi pabrik PT Petrokimia Gresik disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Jalur masuk *Plant II* PT Petrokimia Gresik (Sumber: dokumen pribadi)

Tahap awal sebelum melakukan pengambilan data CO₂ adalah menentukan titik pengambilan sampel. Jumlah lokasi titik sampel sesuai dengan perhitungan pada sub-bab 3.4 adalah sebanyak 25 lokasi, terbagi dalam lima *cluster* yaitu masing-masing sebanyak lima lokasi pada perumahan karyawan, sarana olahraga,

plant I, *plant* II, dan *plant* III. Lokasi pengambilan sampel pada kelima *cluster* disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 1 Koordinat lokasi pengambilan data CO₂ di PT Petrokimia Gresik

Lokasi		Posisi	
		x	y
Cluster I (Perumahan Karyawan)	1	681691.37	9208663.38
	2	681702.01	9208366.50
	3	681555.86	9208573.93
	4	681846.92	9208516.00
	5	681396.04	9208426.88
Cluster II (Sarana Olahraga)	1	680925.35	9208422.79
	2	681093.49	9208484.94
	3	681224.73	9208339.04
	4	681075.51	9208334.18
	5	681077.77	9208199.09
Cluster III (Pabrik I)	1	680953.88	9208723.62
	2	681137.90	9208845.23
	3	681190.71	9209235.77
	4	680649.54	9209080.79
	5	680595.49	9208817.13
Cluster IV (Pabrik II)	1	681250.30	9209464.10
	2	681405.01	9209671.13
	3	681733.82	9209745.85
	4	681969.70	9209654.04
	5	681608.64	9209563.73
Cluster V (Pabrik III)	1	680777.39	9209798.04
	2	680986.44	9209484.83
	3	681254.08	9209921.36
	4	681071.36	9209837.52
	5	680891.38	9210010.83

Sumber: Hasil pengukuran

Koordinat lokasi pengambilan sampel pada semua lokasi disajikan pada Gambar 4.2.

4.1.2 Pengukuran Konsentrasi CO₂ (C)

Pengambilan konsentrasi CO₂ sesuai pada sub-bab 3.6.2, dilakukan pada pukul 06.00; 09.00; 12.00; 15.00; dan 18.00 kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan data seri konsentrasi CO₂ per 1 menit pada setiap jam dalam waktu 12 jam. Ketinggian pengukuran adalah 2 meter dari permukaan dimana pada zona ini dominan terjadi pengaruh emisi dan reduksi serta minim terjadi efek angin sehingga pengaruh perpindahan massa CO₂ oleh angin dapat diminimasi.

Hasil dari pengambilan data konsentrasi CO₂ menunjukkan bahwa pada lokasi *cluster* I dan II (perumahan karyawan dan sarana olahraga), memiliki konsentrasi CO₂ tertinggi saat tidak terdapat sinar matahari yaitu pada pagi hari (06.00) dan sore hari (18.00). Sedangkan konsentrasi CO₂ terendah terjadi dalam rentang waktu siang hingga sore hari. Hal ini sesuai dengan penelitian Salisbury (1999) yang menyatakan bahwa vegetasi mereduksi massa CO₂ udara ambien melalui proses fotosintesis pada siang hari. Sedangkan pada malam hari, vegetasi mengemisi massa CO₂ ke udara ambien. Sehingga konsentrasi CO₂ minimum terjadi pada waktu siang hari.

Sementara untuk lokasi *cluster* III, IV, dan V (pabrik I, II, dan III), konsentrasi CO₂ tertinggi terjadi pada siang hari. Dikarenakan pada waktu siang hari temperatur udara yang tinggi akan menyebabkan kelembaban udara rendah. Ketika kelembaban udara relatif rendah, maka keadaan udara akan kering yang menyebabkan emisi udara ambien mudah terangkat dan melayang di udara bebas sehingga akan meningkatkan nilai konsentrasi CO₂. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Cahyadi, dkk., 2016. Data konsentrasi CO₂ pada 25 lokasi untuk konstruk model disajikan pada **Lampiran 1**.

4.2 Delineasi Unit Analisis

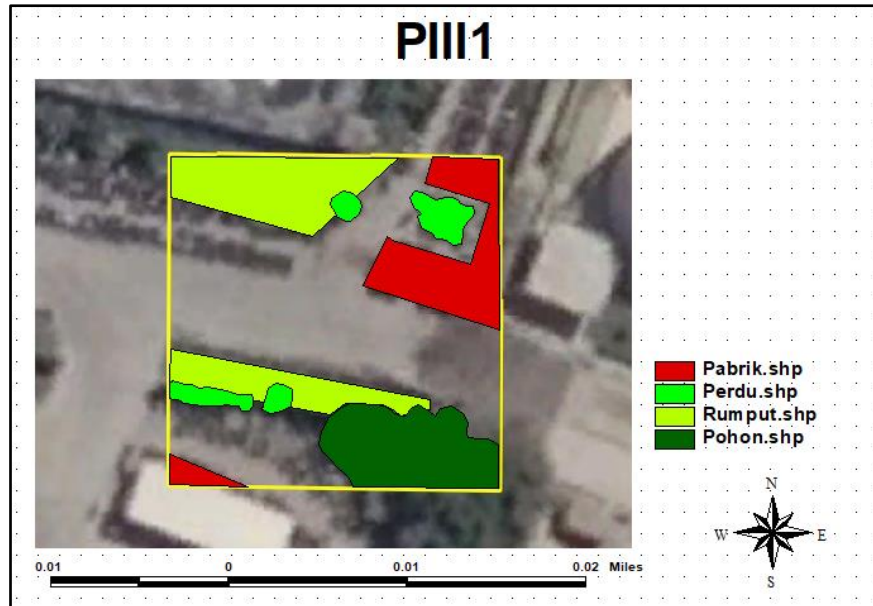
Penggunaan suatu lahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses emisi dan reduksi CO₂. Penelitian oleh Omar (2010) menghasilkan bahwa lahan dengan tutupan vegetasi rumput dan lahan dengan tutupan vegetasi *multiple* (rumput dan tanaman) memiliki nilai konsentrasi CO₂ antara 275 – 300 ppm yang berarti masih dalam nilai ambang batas baku mutu WHO yaitu 310 – 330 ppm.



Gambar 4. 2 Lokasi pengambilan data CO₂ di PT Petrokimia Gresik



Delineasi unit analisis dilakukan untuk mengetahui proporsi penggunaan lahan ruang terbuka hijau dan penggunaan lahan non ruang terbuka hijau. Contoh delineasi salah satu unit analisis sesuai langkah pada sub-bab 3.6.3 disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Delineasi lokasi 1 *cluster* pabrik III

Luas unit analisis ditentukan oleh ukuran box yang didapatkan dari data kecepatan angin rata-rata (V_r) dan selang waktu (Δt) sesuai pada sub-bab 3.4. Data angin yang digunakan adalah data meteorologi milik PT Petrokimia Gresik selama periode musim kemarau, sesuai dengan waktu dilakukannya penelitian ini yaitu pada musim kemarau pula. Data angin secara lengkap disajikan pada **Lampiran 2**.

Hasil delineasi unit analisis dapat menunjukkan lokasi yang memiliki vegetasi dominan maupun lokasi yang tidak memiliki vegetasi. Dari perhitungan delineasi ke-25 unit analisis didapatkan bahwa **lokasi yang dominan vegetasi** adalah *cluster* I (perumahan karyawan) dan *cluster* II (sarana olahraga) dengan nilai proporsi RTH terbesar adalah 100%. Sedangkan **lokasi yang tidak dominan vegetasi** adalah *cluster* III, IV, dan V atau pabrik I, II, dan III dengan nilai proporsi RTH terbesar adalah 66,9%.

Nilai proporsi penggunaan lahan dan fraksi ruang terbuka hijau ke-25 lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Variabel, proporsi penggunaan lahan dan fraksi ruang terbuka hijau 25 unit analisis

Lokasi	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)			Fraksi RTH (%)			Penggunaan Lahan (%)			
	x	y	Cmin	Cmax	Cave	P	D	R	Lnth	Lr	Lp	Lk
Cluster I (Perumahan Karyawan)	1	681691.37	9208663.38	296	601	409	96.8	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0
	2	681702.01	9208366.50	301	631	414	21.0	41.8	30.7	6.5	0.0	0.0
	3	681555.86	9208573.93	286	564	392	12.4	11.0	36.6	40.0	0.0	0.0
	4	681846.92	9208516.00	298	545	397	55.1	0.0	0.0	15.5	29.4	0.0
	5	681396.04	9208426.88	297	620	397	47.2	4.2	12.2	27.9	0.0	8.4
Cluster II (Sarana Olahraga)	1	680925.35	9208422.79	310	671	408	90.3	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0
	2	681093.49	9208484.94	299	630	406	60.4	0.0	0.0	39.6	0.0	0.0
	3	681224.73	9208339.04	311	616	410	86.7	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0
	4	681075.51	9208334.18	296	640	404	72.5	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0
	5	681077.77	9208199.09	291	572	394	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cluster III (Pabrik I)	1	680953.88	9208723.62	331	734	524	39.4	0.0	0.0	51.5	0.0	9.1
	2	681137.90	9208845.23	327	648	512	66.9	0.0	0.0	33.1	0.0	0.0
	3	681190.71	9209235.77	332	624	502	40.8	0.0	0.0	35.0	0.0	24.2
	4	680649.54	9209080.79	353	697	508	47.7	0.0	0.0	52.3	0.0	0.0
	5	680595.49	9208817.13	335	676	517	28.0	41.4	21.7	8.9	0.0	0.0
Cluster IV (Pabrik II)	1	681250.30	9209464.10	422	1165	737	0.0	18.9	0.0	36.3	0.0	44.8
	2	681405.01	9209671.13	446	1218	728	36.2	4.7	0.0	59.1	0.0	0.0
	3	681733.82	9209745.85	457	1212	790	0.0	2.2	0.0	39.0	0.0	58.9
	4	681969.70	9209654.04	493	1242	802	0.0	0.0	0.0	23.8	0.0	76.2
	5	681608.64	9209563.73	486	1458	812	0.0	4.5	42.3	25.5	0.0	27.7
Cluster V (Pabrik III)	1	680777.39	9209798.04	488	1235	825	11.1	4.3	17.5	56.2	0.0	10.9
	2	680986.44	9209484.83	437	1137	794	41.0	0.0	0.0	33.7	0.0	25.2
	3	681254.08	9209921.36	482	1442	839	5.8	5.5	0.0	69.6	0.0	19.1
	4	681071.36	9209837.52	522	1343	834	0.0	0.0	0.0	30.5	0.0	69.5
	5	680891.38	9210010.83	496	1119	805	2.2	0.0	0.0	22.5	0.0	75.3
Rata-rata			376	882	582	38.5	5.5	6.4	30.4	1.2	16.3	1.7

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

Cmin	= konsentrasi minimum	Lnrth	= proporsi lahan non ruang hijau
Cmax	= konsentrasi maksimum	Lr	= proporsi perumahan
Cave	= konsentrasi rata-rata	Lp	= proporsi pabrik
P	= proporsi luas pohon	Lk	= proporsi perkantoran
D	= proporsi luas perdu		
R	= proporsi luas rumput		

4.3 Karakteristik Unit Analisis

Penetapan nilai Net_CO₂ data seri waktu didapatkan dari persamaan (3) pada sub-bab 2.6. Karakteristik ke-25 lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Karakteristik 25 unit analisis konstruk model

No	Variabel-Parameter	Satuan	Min	Max	Avg	Range
1	Konsentrasi CO₂ (C)					
1.1	Konsentrasi minimum (Cmin)	ppm	291	522	376	231
1.2	Konsentrasi maksimum (Cmax)	ppm	545	1442	882	897
1.3	Konsentrasi rata-rata (Cave)	ppm	392	839	582	447
2	Fraksi Ruang Terbuka Hijau (GS)					
2.1	Proporsi pohon (P)	%	0,0	100,0	38,5	100
2.2	Proporsi perdu (D)	%	0,0	41,8	5,5	42
2.3	Proporsi rumput (R)	%	0,0	42,3	6,4	42
3	Penggunaan Lahan (LU)					
3.1	Proporsi non RTH (Lnrth)	%	0,0	69,6	30,4	70
3.2	Proporsi perumahan (Lr)	%	0,0	29,4	1,2	29
3.3	Proporsi pabrik (Lp)	%	0,0	75,3	16,3	75
3.4	Proporsi perkantoran (Lk)	%	0,0	24,2	1,7	24
4	Net_CO₂ Concentration		-410	757	13	1167

Sumber: Hasil perhitungan

Data pada Tabel 4.3 menunjukkan rata-rata konsentrasi CO₂ di kawasan industri PT Petrokimia Gresik adalah sebesar **582 ppm**. Konsentrasi ini lebih tinggi

dari konsentrasi CO₂ di udara global menurut NOAA, 2018 yaitu sebesar 407,8 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan industri memberikan kontribusi emisi CO₂ lebih besar daripada udara ambien skala perkotaan maupun global. Konsentrasi CO₂ di PT Petrokimia Gresik **masih dalam tingkat toleransi** sesuai dengan baku mutu yang dikeluarkan oleh *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) yaitu kurang dari 600 ppm. Sehingga diperlukan penataan ruang terbuka hijau yang tepat agar udara perkotaan di Kota Gresik tidak ikut tercemari dengan emisi CO₂ dari industri petrokimia.

Nilai kumulatif konsentrasi CO₂ (Net_CO₂) dapat digunakan sebagai indikator proses reduksi CO₂. Jika nilai Net_CO₂ bertanda negatif (-), artinya reduksi CO₂ lebih besar dari emisi CO₂. Jika nilai Net_CO₂ bertanda (+), artinya reduksi CO₂ lebih kecil dari emisi CO₂. Nilai CO₂ sama dengan nol (0) artinya proses reduksi maupun emisi CO₂ udara ambien berjalan seimbang.

Berdasarkan data seri waktu Net_CO₂ pada tabel di atas, lokasi perumahan karyawan (*cluster* I) dan sarana olahraga (*cluster* II) memiliki nilai Net_CO₂ bertanda **negatif** (-) yang memiliki arti bahwa **proses reduksi CO₂ lebih besar daripada emisi CO₂**. Sementara untuk lokasi pabrik I, II, dan III (*cluster* III, IV, dan V) menunjukkan nilai Net_CO₂ bertanda **positif** (+) yang berarti **proses emisi CO₂ lebih besar dari proses reduksi CO₂**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa lokasi yang dominan vegetasi memiliki kemampuan untuk mereduksi emisi CO₂ di udara ambien.

Hal ini sesuai dengan penelitian Shan, dkk (2011); Hidayati, dkk (2013); Nowak, dkk., (2006); Escobedo dan Nowak, (2009); dan Tallis, dkk., (2011); yang menyatakan bahwa semakin luas proporsi tumbuhan pada suatu area, maka semakin besar pula serapan emisi CO₂ dari udara ambien. Data pada Tabel 4.4 menunjukkan nilai reduksi tertinggi terjadi di lokasi 2 *cluster* II (sarana olahraga) pada hari Rabu yaitu sebesar -609, sedangkan nilai emisi tertinggi terjadi di lokasi 5 *cluster* IV (pabrik II) pada hari Senin yaitu sebesar 1424. Nilai Net_CO₂ data seri waktu ke-25 lokasi secara lengkap disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai Net_CO₂ data seri waktu

Lokasi	Posisi		Net_CO ₂					Rata-Rata	
	X	Y	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat		
Cluster I (Perumahan Karyawan)	1	681691.37	9208663.38	-241	-236	-271	-85	-560	-279
	2	681702.01	9208366.50	-376	-361	-342	-103	-428	-322
	3	681555.86	9208573.93	-77	-128	-436	-135	-380	-231
	4	681846.92	9208516.00	-138	-193	-238	-170	-445	-237
	5	681396.04	9208426.88	-239	-458	-497	-156	-384	-347
Cluster II (Sarana Olahraga)	1	680925.35	9208422.79	-582	-498	-308	-101	-561	-410
	2	681093.49	9208484.94	-379	-366	-609	-88	-505	-389
	3	681224.73	9208339.04	-427	-378	-517	-65	-435	-364
	4	681075.51	9208334.18	-495	-394	-352	-80	-412	-347
	5	681077.77	9208199.09	-200	-298	-311	-141	-444	-279
Cluster III (Pabrik I)	1	680953.88	9208723.62	334	176	364	308	243	285
	2	681137.90	9208845.23	390	265	344	264	298	312
	3	681190.71	9209235.77	385	283	317	208	284	295
	4	680649.54	9209080.79	553	320	318	285	285	352
	5	680595.49	9208817.13	434	430	367	290	302	365
Cluster IV (Pabrik II)	1	681250.30	9209464.10	916	625	817	352	449	632
	2	681405.01	9209671.13	642	692	712	336	429	562
	3	681733.82	9209745.85	918	735	558	478	497	637
	4	681969.70	9209654.04	989	831	572	429	441	652
	5	681608.64	9209563.73	1424	697	805	434	428	757
Cluster V (Pabrik III)	1	680777.39	9209798.04	1262	650	800	437	511	732
	2	680986.44	9209484.83	876	684	529	475	638	640
	3	681254.08	9209921.36	1006	583	894	510	570	713
	4	681071.36	9209837.52	1013	627	1005	379	472	699
	5	680891.38	9210010.83	724	523	538	472	552	562

Sumber: Hasil perhitungan

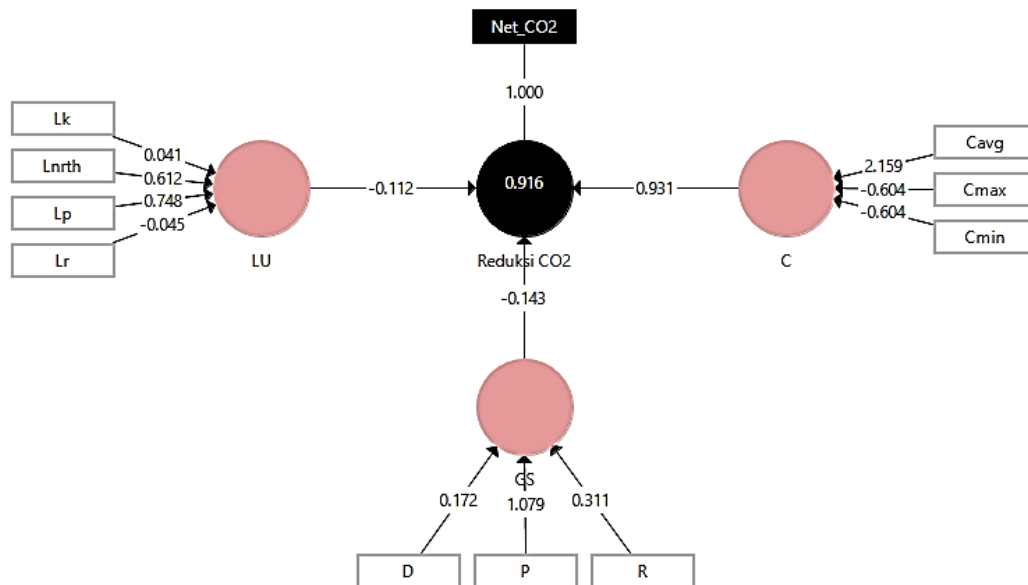
4.4 Model Persamaan Struktural dengan SEM-PLS

Model persamaan struktural yang digunakan dalam penelitian ini adalah SEM-PLS dengan program *smartPLS* 3.0. SEM-PLS dapat digunakan untuk mengatasi hubungan antara variabel (konstruk) yang kompleks dan memiliki ukuran sampel data yang kecil. Beberapa hal yang membedakan analisis PLS dengan model analisis SEM yang lain menurut adalah:

- a. Data tidak harus berdistribusi normal multivarian
- b. Dapat menggunakan sampel kecil minimal 30 sampel
- c. Dapat digunakan untuk mengkonfirmasi suatu teori
- d. Dapat menjelaskan ada atau tidaknya hubungan antar variabel laten
- e. Dapat menganalisis indikator reflektif dan indikator formatif sekaligus
- f. Dapat mengestimasi model yang besar dan kompleks dengan ratusan variabel laten dan ribuan indikator.

Permodelan dalam PLS terbagi menjadi dua, yaitu model struktural (*inner model*) dan model pengukuran (*outer model*). *Inner model* adalah model struktural yang menghubungkan antar variabel laten. Pada penelitian ini, yang merupakan *inner model* adalah hubungan antar variabel penggunaan lahan (LU), fraksi ruang terbuka hijau (GS), dan konsentrasi CO₂ (C) terhadap reduksi CO₂. Sedangkan *outer model* adalah model pengukuran yang menghubungkan indikator dengan variabel laten. Pada penelitian ini, yang merupakan *outer model* adalah hubungan antar: proporsi lahan non RTH (Lnrth), proporsi perkantoran (Lk), proporsi perumahan (Lr), dan proporsi pabrik (Lp), terhadap penggunaan lahan (LU); proporsi pohon (P), perdu (D), dan rumput (R) terhadap fraksi ruang terbuka hijau (GS); serta konsentrasi minimum (Cmin), maksimum (Cmax), dan rata-rata (Cave) terhadap konsentrasi CO₂ (C).

Outer model pada penelitian ini merupakan indikator formatif, bukan reflektif, karena antar indikator diasumsikan tidak berkorelasi. Dalam model indikator formatif tidak diperlukan uji reabilitas, menghilangkan satu indikator berakibat merubah makna dari variabel laten, dan kesalahan pengukuran ada pada tingkat variabel laten. Hasil *running* algoritma dengan program PLS dalam bentuk diagram jalur disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil *running* algoritma antar indikator dan variabel laten

Hasil *running smartPLS* pada gambar di atas dapat disajikan dalam bentuk model persamaan matematis sebagai berikut:

$$\text{Net_CO}_2 = -0,112 \text{ LU} + 0,931 \text{ C} - 0,143 \text{ GS}$$

$$\text{LU} = 0,612 \text{ Lnrth} - 0,045 \text{ Lr} + 0,748 \text{ Lp} + 0,041 \text{ Lk}$$

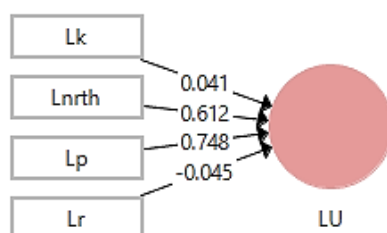
$$\text{C} = -0,604 \text{ Cmin} - 0,604 \text{ Cmax} + 2,159 \text{ Cave}$$

$$\text{GS} = 1,079 \text{ P} + 0,172 \text{ D} + 0,311 \text{ R}$$

4.5 Evaluasi *Outer Model* dan *Inner Model*

4.5.1 *Outer Model* Variabel Laten Penggunaan Lahan (LU)

Variabel laten penggunaan lahan (LU) dipengaruhi oleh 4 (empat) indikator yaitu proporsi perumahan (Lr), proporsi pabrik (Lp), proporsi perkantoran (Lk), dan proporsi lahan selain RTH (Lnrth). Hasil *running* indikator dari variabel laten penggunaan lahan (LU) disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil *running* indikator dari variabel laten penggunaan lahan (LU)

Hasil pengujian *outer model* pada indikator dengan sampel *bootstrap* 500 disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Uji validitas indikator formatif variabel laten penggunaan lahan (LU)

Penggunaan Lahan (LU)	Koefisien	Uji t
Perkantoran (Lk)	0,041	0,247
Pabrik (Lp)	0,748	4,485
Perumahan (Lr)	– 0,045	– 0,271
Lahan selain RTH (Lnrth)	0,612	3,706

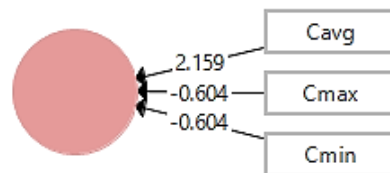
Keterangan: nilai signifikansi $\alpha = 0,05$

Nilai bertanda negatif (–) merupakan nilai mutlak yang menunjukkan bahwa nilai indikator berpengaruh berlawanan arah terhadap variabel. Pada *bootstrap* 500, koefisien indikator perkantoran (Lk) dan perumahan (Lr) memberikan nilai T_{stat} yang lebih kecil dari $T_{tabel} = 1,96$, sehingga indikator perkantoran (Lk) dan perumahan (Lr) tidak mempengaruhi penggunaan lahan (LU). Hal ini dapat dikatakan bahwa indikator perkantoran (Lk) dan perumahan (Lr) tidak masuk dalam permodelan selanjutnya. Hasil *bootstrap* 500 indikator dari variabel laten penggunaan lahan (LU) sebagai berikut:

- a. Nilai koefisien formatif 0,041 untuk perkantoran (Lk) memberikan nilai T_{stat} sebesar 0,247 lebih kecil dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator perkantoran (Lk) tidak valid dalam mempengaruhi penggunaan lahan (LU),
- b. Nilai koefisien formatif 0,748 untuk pabrik (Lp) memberikan nilai T_{stat} sebesar 4,485 lebih besar dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator pabrik (Lp) valid dalam mempengaruhi penggunaan lahan (LU),
- c. Nilai koefisien formatif (–) 0,045 untuk perumahan (Lr) memberikan nilai T_{stat} sebesar (–) 0,271 lebih kecil dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator perumahan (Lr) tidak valid dalam mempengaruhi penggunaan lahan (LU),
- d. Nilai koefisien formatif 0,612 untuk lahan selain RTH (Lnrth) memberikan nilai T_{stat} sebesar 3,706 lebih besar dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator Lahan selain RTH (Lnrth) valid dalam mempengaruhi penggunaan lahan (LU).

4.5.2 Outer Model Variabel Laten Konsentrasi CO₂ (C)

Variabel laten konsentrasi CO₂ (C) dipengaruhi oleh 3 (tiga) indikator yaitu konsentrasi minimum (Cmin), konsentrasi maksimum (Cmax), dan konsentrasi rata-rata (Cave). Hasil *running* indikator dari variabel laten konsentrasi CO₂ (C) disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Hasil *running* indikator dari variabel laten konsentrasi CO₂ (C)

Hasil pengujian *outer model* pada indikator dengan sampel *bootstrap* 500 disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Uji validitas indikator formatif variabel laten konsentrasi CO₂ (C)

Konsentrasi CO ₂ (C)	Koefisien	Uji t
Konsentrasi minimum (Cmin)	- 0,604	- 1,506
Konsentrasi maksimum (Cmax)	- 0,604	2,159
Konsentrasi rata-rata (Cave)	2,159	5,145

Keterangan: nilai signifikansi $\alpha = 0,05$

Nilai bertanda negatif (-) merupakan nilai mutlak yang menunjukkan bahwa nilai indikator berpengaruh berlawanan arah terhadap variabel. Pada *bootstrap* 500, koefisien indikator konsentrasi minimum (Cmin) memberikan nilai T_{stat} yang lebih kecil dari $T_{\text{tabel}} = 1,96$, sehingga indikator konsentrasi minimum (Cmin) tidak mempengaruhi konsentrasi CO₂ (C). Hal ini dapat dikatakan bahwa indikator konsentrasi minimum (Cmin) tidak masuk dalam permodelan selanjutnya. Hasil *bootstrap* 500 indikator dari variabel laten konsentrasi CO₂ (C) sebagai berikut:

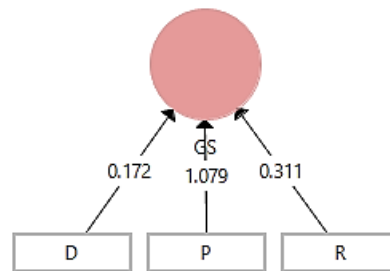
- Nilai koefisien formatif (-) 0,604 untuk konsentrasi minimum (Cmin) memberikan nilai T_{stat} sebesar (-) 1,506 lebih kecil dari $T_{\text{tabel}} = 1,96$ yang berarti indikator konsentrasi minimum (Cmin) tidak valid dalam mempengaruhi konsentrasi CO₂ (C),
- Nilai koefisien formatif (-) 0,604 untuk konsentrasi maksimum (Cmax) memberikan nilai T_{stat} sebesar 2,159 lebih besar dari $T_{\text{tabel}} = 1,96$ yang

berarti indikator konsentrasi maksimum (C_{max}) valid dalam mempengaruhi konsentrasi CO₂ (C),

- c. Nilai koefisien formatif 2,159 untuk konsentrasi rata-rata (C_{ave}) memberikan nilai T_{stat} sebesar 5,145 lebih besar dari T_{tabel} = 1,96 yang berarti indikator konsentrasi rata-rata (C_{ave}) valid dalam mempengaruhi konsentrasi CO₂ (C).

4.5.3 Outer Model Variabel Laten Fraksi RTH (GS)

Variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS) dipengaruhi oleh 3 (tiga) indikator yaitu pohon (P), perdu (D), dan rumput (R). Hasil *running* indikator dari variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS) disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hasil *running* indikator dari variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS)

Hasil pengujian *outer model* pada indikator dengan sampel *bootstrap* 500 disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Uji validitas indikator formatif variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS)

Fraksi RTH (GS)	Koefisien	Uji t
Pohon (P)	1,079	– 6,420
Perdu (D)	0,172	– 0,913
Rumput (R)	0,311	– 1,605

Keterangan: nilai signifikansi $\alpha = 0,05$

Nilai bertanda negatif (–) merupakan nilai mutlak yang menunjukkan bahwa nilai indikator berpengaruh berlawanan arah terhadap variabel. Pada *bootstrap* 500, koefisien indikator perdu (D) dan rumput (R) memberikan nilai T_{stat} yang lebih kecil dari T_{tabel} = 1,96, sehingga indikator perdu (D) dan rumput (R) tidak mempengaruhi fraksi ruang terbuka hijau (GS). Hal ini dapat dikatakan bahwa indikator perdu (D)

dan rumput (R) tidak masuk dalam permodelan selanjutnya. Hasil *bootstrap* 500 indikator dari variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS) sebagai berikut:

- Nilai koefisien formatif 1,079 untuk pohon (P) memberikan nilai T_{stat} sebesar (–) 6,420 lebih besar dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator pohon (P) valid dalam mempengaruhi fraksi ruang terbuka hijau (GS),
- Nilai koefisien formatif 0,172 untuk perdu (D) memberikan nilai T_{stat} sebesar (–) 0,913 lebih kecil dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator perdu (D) tidak valid dalam mempengaruhi fraksi ruang terbuka hijau (GS),
- Nilai koefisien formatif 0,311 untuk rumput (R) memberikan nilai T_{stat} sebesar (–) 1,605 lebih kecil dari $T_{tabel} = 1,96$ yang berarti indikator rumput (R) tidak valid dalam mempengaruhi fraksi ruang terbuka hijau (GS).

4.5.4 Inner Model

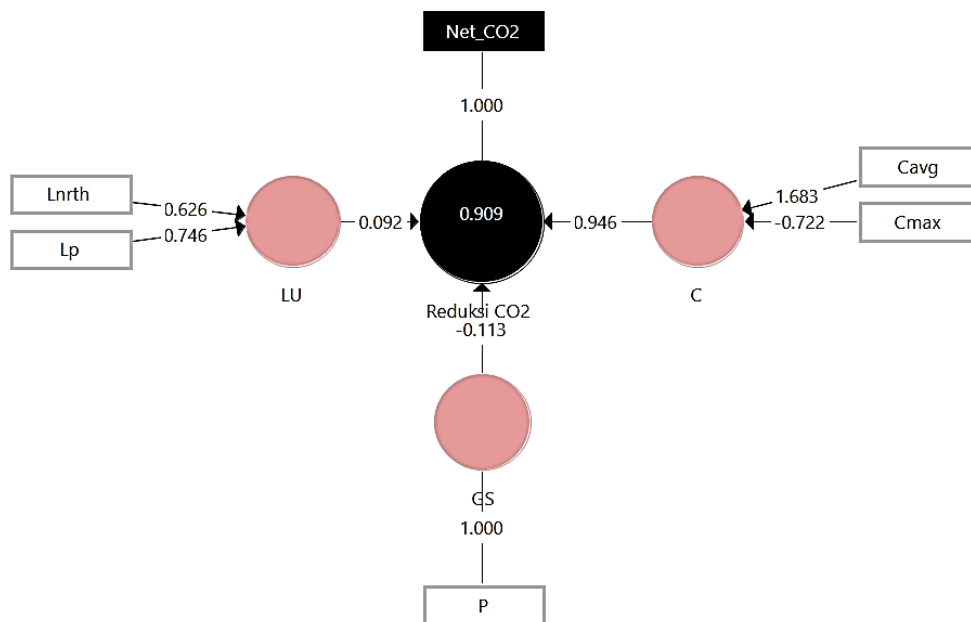
Uji model struktural ditunjukkan melalui hasil koefisien jalur struktural. Karena beberapa indikator tidak signifikan, maka dihilangkan. Sehingga hipotesis yang muncul dalam penelitian ini antara lain:

- hipotesis 1 : indikator variabel laten penggunaan lahan (LU) yaitu pabrik (Lp) dan lahan selain RTH (Lnrth) berpengaruh positif terhadap Net_CO₂,
- hipotesis 2 : indikator variabel laten konsentrasi CO₂ yaitu konsentrasi maksimum (Cmax) dan konsentrasi rata-rata (Cave) berpengaruh positif terhadap Net_CO₂,
- hipotesis 3 : indikator variabel laten fraksi ruang terbuka hijau (GS) yaitu pohon (P) berpengaruh negatif terhadap Net_CO₂.

Hasil *running* algoritma setelah indikator yang tidak valid dihilangkan, disajikan pada Gambar 4.8. Hasil koefisien jalur struktural beserta nilai signifikansi disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Uji validitas *inner model* dengan sampel *bootstrap*

Pengaruh	Koefisien	Uji t
LU → Reduksi CO ₂	0,092	0,664
C → Reduksi CO ₂	0,946	0,000
GS → Reduksi CO ₂	– 0,113	0,395



Gambar 4. 8 Hasil *running* algoritma setelah indikator tidak valid dihilangkan

Hasil pengujian model dapat ditentukan dari nilai *Rsquare* yang menggambarkan *goodness of fit* dari sebuah model. Nilai *Rsquare* yang direkomendasikan adalah lebih besar daripada nol (0). *Rsquare* menunjukkan nilai sebesar 0,909 artinya proporsi dari variabel penggunaan lahan (LU), fraksi ruang terbuka hijau (GS) dan konsentrasi CO₂ (C) menjelaskan nilai varian sebesar 0,909 atau 91%. Koefisien jalur dari Gambar 4.8 dapat disajikan dalam persamaan matematis berikut ini:

$$\text{Net_CO}_2 = 0,092 \text{ LU} - 0,113 \text{ GS} + 0,946 \text{ C}$$

$$\text{LU} = 0,626 \text{ Lnrth} + 0,746 \text{ Lp}$$

$$\text{C} = -0,722 \text{ Cmax} + 1,683 \text{ Cave}$$

$$\text{GS} = \text{P}$$

4.6 Pembahasan

4.6.1 Pengaruh Penggunaan Lahan (LU) terhadap Nilai Net_CO₂

Persamaan pada sub-bab 4.5.4 menunjukkan bahwa penggunaan lahan (LU) sebagai sumber emisi berpengaruh positif dan signifikan terhadap nilai Net_CO₂. Hal ini terlihat dari koefisien jalur yang bertanda positif sebesar 0,092, artinya penggunaan lahan (LU) berpengaruh secara langsung pada Net_CO₂ sebesar 0,092.

Setiap kenaikan proporsi luas penggunaan lahan (LU), akan menaikkan nilai Net_CO₂ sebesar 0,092. Hasil *running* ini sejalan dengan hipotesis 1, dimana semakin besar proporsi pabrik (Lp) dan lahan selain ruang terbuka hijau (Lnrth), maka semakin besar nilai Net_CO₂ dan menunjukkan bahwa di lokasi pabrik (Lp) dan lahan selain ruang terbuka hijau (Lnrth) reduksi CO₂ udara ambien rendah. Hasil analisa pada sub-bab 4.5.1 menunjukkan pengaruh lahan pabrik (Lp) terhadap variabel penggunaan lahan (LU) adalah valid karena memiliki nilai T_{stat} lebih besar dari T_{tabel} yaitu $4,485 > 1,96$.

Hasil penelitian ini mendukung data Kementrian Perindustrian bahwa sektor industri memberikan kontribusi sebesar 3,12% dari total emisi CO₂ semua sektor di Indonesia yaitu 1377982 Gg CO₂e. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian Nemerow, dkk., (2008) yang menyatakan bahwa kegiatan industri merupakan sektor energi menghasilkan paling banyak jumlah emisi kedua dari seluruh sektor energi yang ada. Pada lokasi pabrik (Lp) dan lahan selain ruang terbuka hijau (Lnrth), kondisi debu tanah tersuspensi oleh kegiatan manusia dan pengaruh angin. Selain itu emisi CO₂ juga dihasilkan dari penggunaan energi, kegiatan proses produksi, dan emisi dari limbah, sehingga konsentrasi CO₂ menjadi tinggi.

4.6.2 Pengaruh Konsentrasi CO₂ (C) terhadap Nilai Net_CO₂

Persamaan pada sub-bab 4.5.4 menunjukkan bahwa variabel konsentrasi CO₂ (C) berpengaruh positif dan signifikan terhadap nilai Net_CO₂. Hal ini terlihat dari koefisien jalur yang bertanda positif sebesar 0,946, artinya konsentrasi CO₂ (C) berpengaruh secara langsung pada Net_CO₂ sebesar 0,946. Setiap kenaikan proporsi luas penggunaan lahan, akan menaikkan nilai Net_CO₂ sebesar 0,946. Hasil *running* ini sejalan dengan hipotesis 2, dimana semakin besar konsentrasi maksimum (C_{max}) dan konsentrasi rata-rata (C_{ave}) maka semakin besar nilai Net_CO₂ dan menunjukkan bahwa reduksi CO₂ udara ambien rendah.

Hal ini sesuai dengan data IPCC (2005) bahwa semua kegiatan industri menghasilkan emisi gas rumah kaca, namun jenis industri yang memberikan emisi terbesar adalah industri semen, industri petrokimia, industri baja, industri pulp &

kertas, industri tekstil, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman.

4.6.3 Pengaruh Fraksi Ruang Terbuka Hijau (GS) terhadap Nilai Net_CO₂

Persamaan pada sub-bab 4.5.4 menunjukkan bahwa fraksi ruang terbuka hijau (GS) berpengaruh negatif dan signifikan terhadap nilai Net_CO₂. Hal ini terlihat dari koefisien jalur yang bertanda negatif sebesar 0,113, artinya fraksi ruang terbuka hijau (GS) berpengaruh negatif secara langsung pada Net_CO₂ sebesar 0,113. Setiap kenaikan proporsi luas fraksi ruang terbuka hijau (GS), akan menurunkan nilai Net_CO₂ sebesar 0,113. Hasil *running* ini sejalan dengan hipotesis 3, dimana semakin besar proporsi luas pohon (P), maka semakin kecil nilai Net_CO₂ dan menunjukkan bahwa pada lokasi dengan proporsi pohon (P) reduksi CO₂ udara ambien tinggi. Hasil analisa pada sub-bab 4.5.3 menunjukkan pengaruh pohon (P) terhadap variabel fraksi ruang terbuka hijau (GS) adalah valid dan berkorelasi berlawanan arah karena memiliki nilai T_{stat} lebih besar dari T_{tabel} yaitu $(-) 6,420 > 1,96$.

Hasil penelitian ini sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 bahwa pohon secara alami dapat menyerap emisi yang ada di udara dan lebih efektif pada pohon-pohon berdaun lebar. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian Shan, dkk (2011) bahwa kemampuan tumbuhan dalam menyerap emisi dipengaruhi oleh kondisi tanaman seperti kepadatan dan struktur tanaman. Penelitian oleh Hidayati, dkk (2013) menyatakan bahwa bukaan stomata berkorelasi positif dengan serapan CO₂, semakin besar bukaan maka semakin besar serapan CO₂. Penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Nowak, dkk., (2006); Escobedo dan Nowak, (2009); dan Tallis, dkk., (2011) yang menyatakan bahwa wilayah RTH yang bervegetasi tinggi lebih banyak mereduksi polutan daripada area yang bervegetasi semak. Hastuti dan Sulistyarso (2012) yang melakukan penelitian tentang penyediaan RTH di kawasan industri Surabaya menyebutkan bahwa RTH berjenis pohon dengan daya serap 569,07 ton/ha/tahun mampu mengurangi emisi CO₂ di udara ambien.

Pada lokasi yang memiliki proporsi pohon (P), proses reduksi CO₂ akan terbantu oleh adanya vegetasi, emisi CO₂ akan diserap oleh tumbuhan. Menurut

Salisbury (1999), pada siang hari vegetasi mereduksi massa CO₂ udara ambien melalui proses fotosintesis sehingga mampu menurunkan konsentrasi CO₂ di udara ambien di PT Petrokimia Gresik.

4.7 Model RTH untuk Meningkatkan Reduksi CO₂

Dari hasil analisa menggunakan program *smartPLS*, diketahui indikator variabel yang berpengaruh terhadap nilai Net_CO₂ adalah pohon (P), pabrik (Lp), lahan selain RTH (Lnrth), konsentrasi maksimum (Cmax) dan konsentrasi rata-rata (Cave). Model persamaan matematis RTH untuk meningkatkan reduksi CO₂ dengan menggunakan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$P = -0,113 - \text{NetCO}_2 + 0,0576 \text{ Lnrth} + 0,0686 \text{ Lp} \\ - 0,683 \text{ Cmax} + 1,592 \text{ Cave}$$

dimana,

P = proporsi luas pohon

Net_CO₂ = nilai reduksi CO₂ oleh RTH

Lnrth = proporsi lahan non ruang hijau

Lp = proporsi pabrik

Cmax = konsentrasi maksimum

Cave = konsentrasi rata-rata

4.8 Testing Model RTH untuk Meningkatkan Reduksi CO₂

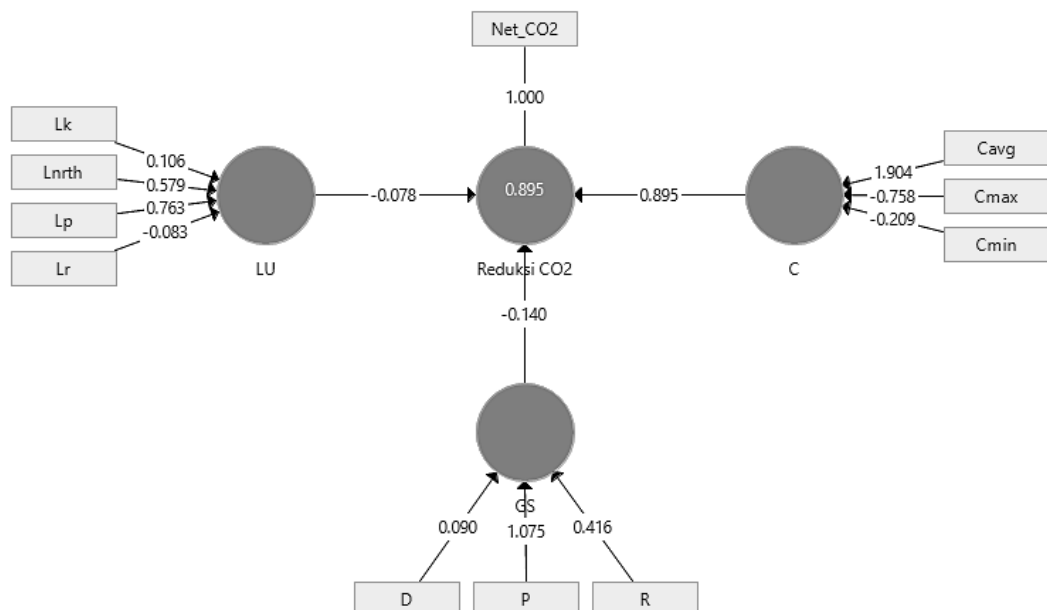
Setelah didapatkan model persamaan matematis RTH untuk meningkatkan reduksi CO₂, perlu dilakukan konfirmasi data yaitu melalui tahap *testing model*. Tahap *testing model* pada penelitian ini dilakukan pada minggu berikutnya setelah pengumpulan data konstruk. Hasil konstruk model dan hasil *testing model* akan dianalisis berdasarkan nilai R². Menurut Arifin (2005), model dikatakan akurat jika memiliki nilai R² > 0,6. Langkah *testing model* dilakukan sesuai dengan cara mencari persamaan matematis untuk konstruk model. Karakteristik unit analisis untuk *testing model* dilampirkan pada **Lampiran 3**, dan dirangkum sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Karakteristik unit analisis untuk *testing model*

No	Variabel-Parameter	Satuan	Min	Max	Avg	Range
1 Konsentrasi CO₂ (C)						
1.1	Konsentrasi minimum (Cmin)	ppm	276	521	376	245
1.2	Konsentrasi maksium (Cmax)	ppm	573	1432	857	859
1.3	Konsentrasi rata-rata (Cave)	ppm	396	814	575	418
2 Fraksi Ruang Terbuka Hijau (GS)						
2.1	Proporsi pohon (P)	%	0,0	100,0	38,5	100
2.2	Proporsi perdu (D)	%	0,0	41,8	5,5	42
2.3	Proporsi rumput (R)	%	0,0	42,3	6,4	42
3 Penggunaan Lahan (LU)						
3.1	Proporsi non RTH (Lnrth)	%	0,0	69,6	30,4	70
3.2	Proporsi perumahan (Lr)	%	0,0	29,4	1,2	29
3.3	Proporsi pabrik (Lp)	%	0,0	75,3	16,3	75
3.4	Proporsi perkantoran (Lk)	%	0,0	24,2	1,7	24
4	Net_CO₂ Concentration		-521	646	8	1167

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil *running* algoritma data *testing model* dengan program PLS dalam bentuk diagram jalur disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hasil *running* untuk *testing model*

Hasil *running smartPLS* pada gambar di atas dapat disajikan dalam bentuk model persamaan matematis sebagai berikut:

$$\text{Net_CO}_2 = -0,078 \text{ LU} + 0,895 \text{ C} - 0,140 \text{ GS}$$

$$\text{LU} = 0,579 \text{ Lnrth} - 0,083 \text{ Lr} + 0,763 \text{ Lp} + 0,106 \text{ Lk}$$

$$\text{C} = -0,209 \text{ Cmin} - 0,758 \text{ Cmax} + 1,904 \text{ Cave}$$

$$\text{GS} = 1,075 \text{ P} + 0,090 \text{ D} + 0,416 \text{ R}$$

Hasil pengujian indikator formatif variabel laten penggunaan lahan (LU), konsentrasi CO₂ (C), dan fraksi ruang terbuka hijau (GS) untuk *testing model* disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Uji validitas variabel laten untuk *testing model*

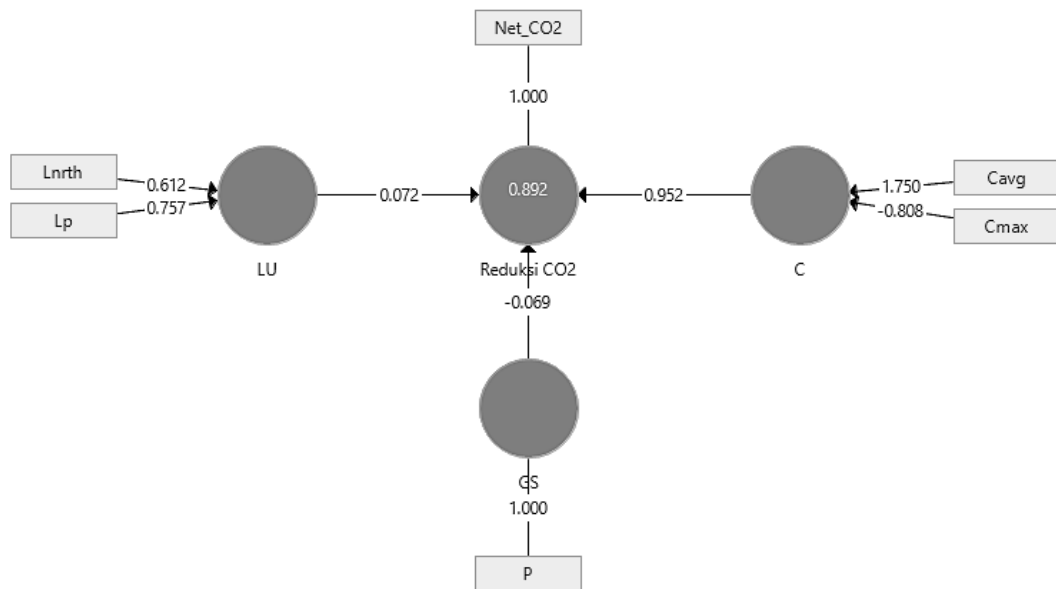
Indikator	Koefisien	Uji t
Perkantoran (Lk)	0,106	3,285
Pabrik (Lp)	0,763	- 0,471
Perumahan (Lr)	- 0,083	4,285
Lahan selain RTH (Lnrth)	0,579	0,596
Konsentrasi minimum (Cmin)	- 0,209	- 0,677
Konsentrasi maksimum (Cmax)	- 0,758	2,689
Konsentrasi rata-rata (Cave)	1,904	5,336
Pohon (P)	1,075	- 5,975
Perdu (D)	0,090	- 0,445
Rumput (R)	0,416	- 0,295

Keterangan: nilai signifikansi $\alpha = 0,05$

Karena beberapa indikator tidak signifikan, maka dihilangkan. Hasil *running* algoritma setelah indikator yang tidak valid dihilangkan, disajikan pada Gambar 4.10. Hasil koefisien jalur struktural beserta nilai signifikansi disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Uji validitas *inner model* dengan sampel bootstrap

Pengaruh	Koefisien	Uji t
LU → Reduksi CO ₂	0,072	0,690
C → Reduksi CO ₂	0,952	0,000
GS → Reduksi CO ₂	- 0,069	0,556



Gambar 4. 10 Hasil *running testing model* setelah indikator tidak valid dihilangkan

Hasil nilai *Rsquare* dari pengujian model di atas menunjukkan nilai sebesar 0,892 artinya proporsi dari variabel penggunaan lahan (LU), fraksi ruang terbuka hijau (GS) dan konsentrasi CO₂ (C) menjelaskan nilai varian sebesar 0,892 atau 89%. Koefisien jalur dari Gambar 4.10 dapat disajikan dalam persamaan matematis berikut:

$$\text{Net_CO}_2 = 0,072 \text{ LU} - 0,069 \text{ GS} + 0,952 \text{ C}$$

$$\text{LU} = 0,612 \text{ Lnrth} + 0,757 \text{ Lp}$$

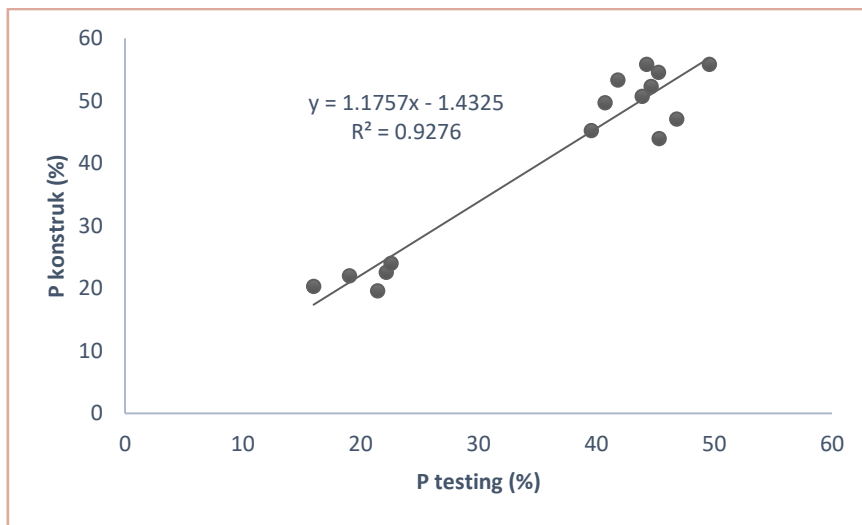
$$\text{C} = -0,808 \text{ Cmax} + 1,750 \text{ Cave}$$

$$\text{GS} = \text{P}$$

Model persamaan matematis RTH untuk *testing model* dengan menggunakan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{testing}} = & -0,069 - \text{NetCO}_2 + 0,044 \text{ Lnrth} + 0,055 \text{ Lp} \\ & - 0,769 \text{ Cmax} + 1,666 \text{ Cave} \end{aligned}$$

Dilakukan perbandingan hasil nilai konstruk model dan hasil nilai *testing model* dan dianalisis dengan menghitung nilai R². Hasil perbandingan nilai P *testing model* dan nilai P konstruk model pada Gambar 4.11 menunjukkan nilai R² = 0,928. R² lebih dari 0,6 sehingga dapat dikatakan bahwa model akurat.



Gambar 4. 11 Konstruk model vs *testing model* untuk P

4.9 Penerapan Model RTH di Industri Petrokimia

Diketahui luasan area PT Petrokimia Gresik sesuai Data Petrokimia (2016) adalah seluas 450 ha atau 4500000 m². Untuk mendapatkan nilai Net_CO₂ = 0, maka diperlukan luasan ruang terbuka hijau sebagai berikut:

Diketahui : data karakteristik 25 unit analisis sesuai Tabel 4.3

lahan pabrik	= 73,35 ha	= 16,3 %	= 0,163
lahan non RTH	= 136,8 ha	= 30,4 %	= 0,304
konsentrasi max	= 882 ppm	= $882 \cdot 10^{-6}$	= 0,000882
konsentrasi rata-rata	= 582 ppm	= $581 \cdot 10^{-6}$	= 0,000582

Ditanya : proporsi P untuk nilai Net_CO₂ = 0

Penyelesaian : untuk mendapatkan nilai Net_CO₂ = 0, maka

$$P = -0,113 - \text{NetCO}_2 + 0,0576 \text{ Lnrth} + 0,0686 \text{ Lp} - 0,683 \text{ Cmax} + 1,592 \text{ Cave}$$

$$P = -0,113 - 0 + 0,0576 (0,304) + 0,0686 (0,163) - 0,683 (0,000882) + 1,592 (0,000582)$$

$$P = 0,084$$

Proporsi pohon yang dibutuhkan untuk nilai Net_CO₂ = 0 adalah sebesar 8,4% atau seluas 37,8 ha = 378000 m².

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Rata-rata konsentrasi CO₂ di kawasan industri PT Petrokimia Gresik adalah sebesar 582 ppm, lebih tinggi dari konsentrasi CO₂ di udara global yaitu sebesar 407,8 ppm. Indikator pohon berpengaruh negatif terhadap Net_CO₂ yang berarti semakin besar proporsi luasan pohon, maka semakin kecil konsentrasi CO₂. Indikator pabrik, lahan selain RTH, konsentrasi maksimum dan konsentrasi rata-rata berpengaruh positif terhadap Net_CO₂ yang berarti semakin besar proporsi pabrik, lahan selain RTH, konsentrasi maksimum dan konsentrasi rata-rata, maka semakin besar pula konsentrasi CO₂ udara ambien. Model RTH untuk reduksi CO₂ udara ambien di PT Petrokimia Gresik dengan melibatkan variabel penggunaan lahan, fraksi ruang terbuka hijau dan konsentrasi CO₂, adalah:

$$P = -0,113 - \text{NetCO}_2 + 0,0576 \text{ Lnrth} + 0,0686 \text{ Lp} - 0,683 \text{ Cmax} + 1,592 \text{ Cave}$$

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai upaya untuk pengendalian konsentrasi CO₂, perlu adanya monitoring berkala dan pengaplikasian nilai Net_CO₂ sebagai indikator reduksi konsentrasi CO₂ udara ambien, supaya didapatkan penetapan RTH yang riil, terukur, dan terhitung,
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui jenis, tinggi, dan kerapatan pohon yang optimal dalam menyerap CO₂ untuk kawasan industri PT Petrokimia Gresik,
3. Dengan nilai Net_CO₂ yang telah didapat, penelitian selanjutnya dapat dievaluasi atau direncanakan kembali proporsi luas RTH dan penataan RTH yang diperlukan untuk mereduksi CO₂ udara ambien di kawasan PT Petrokimia Gresik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah dan Khairuddin. (2009). *Gas Rumah Kaca dan Pemanasan Global*. Jurnal Biocelbes. Vol. 3 No.1: 1-3.
- Afdal. (2007). *Siklus Karbon dan Karbon Dioksida di Atmosfer dan Samudera*. Jurnal Oseana Vol XXXII (2):29-41.
- Ahrens, C.D., dan Henson, R. (1993). *Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere*. Cengage Learning.
- Arifin, J. (2005). *Aplikasi Excell dalam Statistik dan Riset Terapan*. Elex Media Komputindo.
- Boer. R., Dewi, R. G., Siagian, W. R. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Kementrian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, Hal 8.
- Buns, C., dan Kuttler, W. (2012). *Path-integrated measurements of carbon dioxide in the urban canopy layer*. Atmospheric Environment 46: 237-247.
- Cahyadi, W., Basir, A., Eko, S., Razie, F. (2016). *The Influence Of Meteorological Factors And Concentration Particulate (PM10) To Acute Respiratory Infections (ARI) (Case Study On The District Of South Banjarbaru, Banjarbaru Year 2014-2015)*. EnviroScienceteae. 12, 3:302-311.
- Chaturvedi, A., Kamble, R., Patil, N.G., Chaturvedi, A. (2013). *City-forest Relationship in Nagpur: One of the Greenest Cities of India*. Journal of Urban Forestry and Urban Greening 12: 79-87.
- Contini, D., Donato, A., Elefante, C., Grasso, F.M. (2012). *Analysis of Particles and Carbon Dioxide Concentration and Fluxes in an Urban Area Correlation with Traffic Rate and Local Micrometeorology*. Atmospheric Environment 46, 25-35.
- Dahlan, E.N. (1989). *Studi Kemampuan Tanaman Dalam Menjerap dan Menyerap Timbal Emisi dari Kendaraan Bermotor*. Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Dawyer, M.C., Miller, R.W. (1999). *Using GIS to assess urban tree canopy benefits and surrounding greenspace distributions*. Journal of Arboriculture 25(2):

- 102-107 Dinas Pertamanan. (2007). *Pengamatan Taman dan Pembuatan Rancangan Penataan Taman Se-Kota Bogor*. Bogor: PT Beutari Nusakreasi.
- Djajadilaga, M., Tejalaksana, A., Harnowo, H., Gusthi, dan A. S., Sudarmanto. (2009). *Emisi Gas Rumah Kaca dalam Angka, Asisten Deputi Urusan Data dan Informasi Lingkungan*. Kementrian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta, Hal 7.
- Elaeis, N.R., Kiki, R.L.T., Ita, T.A., Titik, I. (2013). *Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor Meteorologis (Suhu, Kecepatan Angin) terhadap Peningkatan Konsentrasi Gas Pencemar CO, NO2, dan SO2 pada Persimpangan Jalan Kota Semarang*. Dipa Ipteks, I (1), 2013, 2.
- Escobedo, F.J., Nowak, D.J. (2009). *Spatial Heterogeneity and Air Pollution Removal by An Urban Forest*. Journal of Landscape and Urban Planning 90: 102-110.
- Fakhrian, R., Hindersah, H., Burhanudin, H. (2015). *Arahan Pengembangan Sabuk Hijau (Green Belt) di Kawasan Industri Kariangau (KIK) Kota Balikpapan*. Prosiding Penelitian Spesial 2015. Perencanaan Wilayah dan Kota. Tahun Akademik 2014-2015: 15-20.
- Goeritno, A. (2002). *Kemungkinan Pengenaan Pajak Terhadap Emisi CO₂ Industri*. Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif, BATAM.
- Grey, GW dan FJ Deneke. (1978). *Urban forestry*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Gucci, R., Putri, M., Sofia, A. (2016). *Analisis Perbedaan Iklim Mikro Terhadap Kenyamanan Pengunjung pada Ruang Terbuka Hijau di Kota Pekanbaru*. Jurnal Ilmu Lingkungan Vol. 10 No. 2 (2016).
- Hastuti, I., Sulistyarso, H. (2012). *Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Nilai Emisi CO₂ di Kawasan Industri Surabaya*. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271.
- Hepple, R.P., dan Benson, S.M. (2001). *A Review of Human Health and Ecological Risks due to CO₂ Exposure*. American Geophysical Union. Lawrence Berkeley National Laboratory, Earth Science Division. United States.
- Hermawan, R., Kusmana, C., Nasrullah, N., Prasetyo, L. B. (2011). *Jerapan Debu dan Partikel Tlmbal (Pb) oleh Daun Berdasarkan Letak Pohon dan Posisi*

- Tajuk: Studi Kasus Jalur Hijau Acacia mangium, Jalan Tol Jagorawi. Media Konservasi* Vol. 16, No. 3 Desember 2011 : 101 – 107.
- Hidayati, N., Mansur, M., Juhaeti, T. (2013). *Variasi Serapan Karbondioksida (CO₂) Jenis-Jenis Pohon di Ecopark, Cibinong dan Kaitanya dengan Potensi Mitigasi Gas Rumah Kaca*. Buletin Kebun Raya. Vol. 16 No. 01: 38-51.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2006). *Chemical Industry Emissions*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Jacobson, M.Z. (2005). *Fundamental of Atmospheric Modelling*. Cambridge University.
- Jaya, G. N. M., Sumertajaya, M. (2008). *Pemodelan Persamaan Struktural dengan Partial Least Square*. Semnas Matematika dan Pendidikan Matematika 2008.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. (2013). *Kebijakan & Perkembangan Pelaksanaan Program Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Industri*. Pusat Pengkajian Industri Hijau dan Lingkungan Hidup Badan Pengkajian Kebijakan, Iklim dan Mutu Industri.
- Kiran, G.S. dan Kinnary, S. (2011). *Carbon Sequestration By Urban Trees On Roadsides of Vadodara City*. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). Vol. 3(4): 3066-3070.
- Kuzu, S. L., Saral, A., Demir, S., Coltu, H., Can, M., Beyaz, T. (2013). *Estimation of atmospheric PCB releases from industrial facilities in Turkey*. Atmospheric Pollution Research 4 (2013): 420-426.
- Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Tahun 2010
- Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan MRV Nasional Tahun 2017
- Lee, S., Song, X.Y. (2008). *On Bayesian Estimation and Model Comparison of an Integrated Structural Equation Model*. Journal of Computational Statistics and Data Analysis 52 (10):4814-4827.

- Marmi. (2016). *Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota Surabaya sebagai Wahana Peningkatan Kemampuan Dasar Sistematik Tumbuhan*. Inovasi Vol.18, No.1, Hal: 72-79.
- Math Wiki. (2018). *T table*. http://math.wikia.com/wiki/T_table. Diakses pada 05 Desember 2018.
- Murdiyarso, D. (2003). *Sepuluh Tahun Perjalanan Konvensi Perubahan Iklim*. Jakarta.
- Nasrullah, N, dkk. (2001). *Seleksi Tanaman Lanskap yang Berpotensi Tinggi Menyerap Polutan Gas NO₂ dengan Menggunakan Gas NO₂ Bertanda 15N*. Bulletin Taman dan Lanskap Indonesia Vol. 4/1/2001 : 1-5
- Nemerow, Agardy, J., Sullivan, P., Salvato, J. (2008). *Environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry: sixth edition*. Wiley.
- Nevers, N. (2000). *Air Pollution Control Engineering*. Mc Graw Hill Book co.
- NOAA Research - Earth System Research Laboratory-ESRL Global Monitoring Division. (2018). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>. Diakses pada 15 April 2018.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. (2006). *Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States*. Journal of Urban Forestry & Urban Greening 4 (2006) 115–123.
- Nugrahani, P., dan Sukartiningrum. (2008). *Indeks Toleransi Polusi Udara (APTI) Tanaman taman Median Jalan Kota Surabaya*. Jurnal Pertanian Mapeta 10 (2): 86-92
- Nugroho, S.B., A. Fujiwara, J. Zhang. (2006). *Analysis of Roadside Air Quality in Jakarta City: A Structural Equation Approach*. JSME International Journal Series B, Vol. 49, No. 1, pp. 8-18, Februari 2006.
- Nugroho, S.B., A. Fujiwara, J. Zhang. (2010). *The influence of BRT on the ambient CO₂ concentration at roadside sites of Trans Jakarta corridors*. Procedia Environmental Sciences 2: 914-924.

- Occupational Safety and Health Administration-OHSA. OSHA Occupational Chemical Database. <https://www.osha.gov/chemicaldata/>. Diakses pada 15 April 2018.
- Omar, S.R. (2010). *Plant volume as a factor affecting outdoor ambient air and thermal condition*. UTM
- Parlupi, B. (2008). *Ruang Terbuka Hijau sebagai Pengendali Polusi Udara*. In: Muhammad A dan Nurbianto, editors. *Jakarta Kota Polusi Menggugat Hak Atas Udara Bersih*. Jakarta: Lembaga Penelitian, Pendidikan, dan Penerangan Ekonomi dan Sosial Indonesia.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 Tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau.
- Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
- Pramudito, B.B., Moersidik, S.S. (2010). *Dampak Terhadap Kualitas Udara*.
- Proias T., Nastos, P. T., Larissi, I. K., Paliatsos, A. G. (2010). *CO₂ Concentrations Related to Meteorology in Volos, Organized By The Hellenic Physical Society with The Cooperation of The Physics Departments of Greek Universities: 7th International Conference of The Balkan Physical Union*. AIP Conference Proceedings, Greece, Vol., 1203, pp. 1091-1096.
- Pujiantara, A.R.F. (2018). *Studi Pengaruh Jenis Tanaman Terhadap Reduksi CO₂ di Ruang Terbuka Hijau Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (Merr li-C) Kota Surabaya*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Pupuk Kaltim. (2016). *Laporan Akhir: Kajian Prediksi Sebaran Emisi Hipotetik di Area NPK Klaster, Kaltim Industrial Estate, Kantor Pusat Dan Pusat Produksi*. Bontang 75313, Kalimantan Timur, Indonesia.
- Roshintha, R.R., dan Mangkoedihardjo, S. (2016). *Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) Pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya*. Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, (2016)
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. (1999). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Co.

- Samiaji, T. (2010). *Analisis Emisi Gas CO₂ di Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer I 2010, LAPAN.
- Samiaji, T. (2011). *Gas CO₂ di Wilayah Indonesia*. Peneliti Bidang Atmosfer. LAPAN.
- Samsedin, I. dan Subiandono, E. (2007). *Pembangunan dan Pengelolaan Hutan Kota, Prosiding Ekspose Hasil-hasil Penelitian*. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam Bogor.
- Santoso, I. B., Mangkoediharjo, S. (2012). *Time Series of Carbon Dioxide Concentration in the Ambient Air to Determine Greenspace Area*. International Journal of Academic Research Part A 4 (6): 224-229.
- Santoso, I.B., Otok, B.W. (2014). *Determination of Sample Size for Evaluation Greenspace Using the Cumulative Concentration Levels of Carbon Dioxide in Ambient Air*. International Journal of Academic Research. Part A; 2014; 6(1), 161-165.
- Santoso, S. (2011). *Structural Equation Modeling (Konsep dan Aplikasi dengan AMOS 18)*. ISBN: 978-979-27-9227-0. PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Sarjono, H., Julianita, W. (2015). *SEM (STRUCTURAL EQUATION MODEL): Sebuah Pengantar, Aplikasi untuk penelitian bisnis*. Salemba Empat. Jakarta.
- Shan, Y., Shen, Z., Zhou, X., Zou, X., Che, S., Wang, W. (2011). *Quantifying Air Pollution Attenuation within Urban Parks: An Experimental Approach in Shanghai, China*. Journal of Environmental Pollution 159 (2011) 2155-2163.
- Sihotang, S.R., dan Assomadi, A.F. (2010). *Pemetaan Distribusi Konsentrasi Karbon dioksida (CO₂) dari Kontribusi Kendaraan Bermotor di Kampus ITS Surabaya*. Jurnal Ilmiah Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Soemirat, J. (2005). *Toksikologi Lingkungan*. Gajah Mada University Press.
- Sofiati, I., Gusnita, D. (2013). *Analisis Parameter Meteorologi terhadap Konsentrasi CO₂ di Kota Surabaya*. Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer-LAPAN. Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2013.
- Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J., Smith, C.L. (2012). *Urban Particulate Pollution Reduction by Four Species of Green Roof Vegetation in a UK City*. Atmospheric Environment 61: 283-293.

Standar Nasional Indonesia - SNI 19-0232-2005 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia Di Udara Tempat Kerja.

State of Delaware. *The Greenhouse Effect*.
<http://www.dnrec.delaware.gov/ClimateChange/Pages/Greenhouse%20Effect.aspx>. Diakses pada 17 Januari 2019.

Stockmann, U. (2013). *The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon*. Agriculture Ecosystem and Environment 164, 80-99

Sulasmini M.L.K., Mahendra M.S., Lila K.A. (2007). *Peranan Tanaman Penghijauan Angsana, Bungur dan Daun Kupu-Kupu Sebagai Penyerap Emisi PB dan Debu Kendaraan Bermotor Di Jalan Cokroaminoto, Melati dan Cut Nyak Dien di Kota Denpasar*. Ecotrophic Vol 2 No. 1: 1- 11.

Susanto, J.P., dan Komarawidjaja, W. (2018). *Pembangunan Green Belt Sebagai Antisipasi Pencemaran Udara Industri Pupuk Di Kalimantan Timur*. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 19, No 2.

Suyanti L., Rushayati S.B., Hermawan R. (2008). *Penurunan Polusi Timbal oleh Jalur Hijau Tanjung (Mimusops elengi Linn) di Taman Monas Jakarta Pusat*. Media Konservasi Vol. 13 No. 1: 16-20.

Syamdermawan, W., Surjono., Kurniawan, E.B. (2012). *Pengaruh Ruang Terbuka Hijau Terhadap Kualitas Lingkungan Pada Perumahan Menengah Atas*. Teknik Sipil dan Perencanaan UB. Malang.

Taihuttu, H.N. (2001). *Studi Kemampuan Tanaman Jalur Hijau Jalan Sebagai Penjerap Partikulat Hasil Emisi Kendaraan Bermotor*. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P. (2011). *Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments*. Journal of Landscape and Urban Planning 103 (2011) 129– 138.

The Engineering Toolbox. (2014). *Carbon Dioxide Concentration Comfort Levels*.
https://www.engineeringtoolbox.com/CO2-comfort-level-d_2014.html.
Diakses pada 15 April 2018.

- Ulum, M., Tirta, M., Anggraeni, D. (2014). *Analisis Structural Equation Modeling (SEM) untuk Sampel Kecil dengan Pendekatan Partial Least Square (PLS)*. Prosiding Seminar Nasional Matematika, Universitas Jember.
- United Nation Framework Convention on Climate Change-UNFCCC. *Protocol Kyoto*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>. Diakses pada 15 April 2018.
- Van Damme, I. (2010). *Understanding Near-surface Turbulance Fluxes Using an Open-path Gas Analyzer*. Reading University.
- Vlachokostas C., Achillas C., Moussiopoulos N. (2012). *Health Effects on Social Costs of Particulate and Photocemical Urban Area Pollution: A Case Study for Thessaloniki, Greece*. Air Quality, Athmosphere and Heath. 5(3): 325-334
- World Health Organization-WHO. (2007). Health Risks of Heavy Metals from Longrange Transboundary Air Pollution. www.who.int. Diakses pada 15 April 2018.
- Yulianti, S., Fitrianingsih, Y., Jati, D.R. (2013). *Analisis Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (CO) pada Ruas Jalan Gajah Mada Pontianak*. Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Zendrako, E. (2010). *Pengukuran Kadar Gas Pencemar Nitrogen Dioksida di Udara Sekitar Kawasan Industri*. Medan: Universitas Sumatera Selatan.

BIOGRAFI PENULIS



Aisyah Ahmad, dilahirkan di Kabupaten Sampang, pulau Madura pada tanggal 10 Nopember 1994 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Drs. H. Ahmad Saidil Ahmadi, M.Pd, dan Ibu Ir. Hj. Kudrotukah, M.Si. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Gunongsekar I Sampang selama tahun 2001-2007. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN I Sampang selama tahun 2007-2010 dan dilanjutkan pendidikan tingkat atas yang dilalui di SMAN I Sampang selama tahun 2010-2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya pada tahun 2013 hingga tahun 2017 dan terdaftar dengan NRP 3313100078. Sebelum penulis diwisuda pada pendidikan sarjana, penulis telah menjadi mahasiswa pascasarjana di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS Surabaya angkatan 2017 periode ganjil dengan NRP 03211750010013. Selama perkuliahan, penulis aktif pada organisasi maupun kepanitiaan di Jurusan Teknik Lingkungan. Penulis merupakan anggota departemen kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan periode 2014/2015 dan periode 2015/2016. Bila ada pertanyaan terkait laporan tesis penulis, silahkan menghubungi penulis via email di aisyahmad10@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1

Data Konsentrasi CO₂

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		x	y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Perumahan Karyawan	1	681691.37	9208663.38	582	524	401	399	486
	2	681702.01	9208366.50	631	513	398	360	497
	3	681555.86	9208573.93	471	481	366	373	461
	4	681846.92	9208516.00	496	465	397	380	430
	5	681396.04	9208426.88	521	447	344	366	501
	1	681691.37	9208663.38	541	498	332	351	469
	2	681702.01	9208366.50	605	487	371	356	540
	3	681555.86	9208573.93	491	501	330	349	430
	4	681846.92	9208516.00	502	459	361	315	479
	5	681396.04	9208426.88	620	471	310	331	510
Perumahan Karyawan	1	681691.37	9208663.38	520	432	371	324	387
	2	681702.01	9208366.50	527	399	342	328	379
	3	681555.86	9208573.93	564	383	352	329	397
	4	681846.92	9208516.00	491	394	392	328	409
	5	681396.04	9208426.88	573	353	345	319	425
	1	681691.37	9208663.38	404	385	345	326	376
	2	681702.01	9208366.50	420	401	349	316	368
	3	681555.86	9208573.93	419	399	305	293	361
	4	681846.92	9208516.00	441	382	324	369	358
	5	681396.04	9208426.88	414	367	297	326	362
	1	681691.37	9208663.38	601	375	296	307	436
	2	681702.01	9208366.50	555	386	301	331	469
	3	681555.86	9208573.93	520	372	286	326	451
	4	681846.92	9208516.00	545	361	315	298	440
	5	681396.04	9208426.88	532	369	320	332	496

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)					
		x	y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	
Sarana Olahraga	1	680925.35	9208422.79	664	422	371	364	447	
	2	681093.49	9208484.94	571	423	360	357	473	
	3	681224.73	9208339.04	616	474	339	348	496	
	4	681075.51	9208334.18	640	461	341	354	480	
	5	681077.77	9208199.09	493	430	352	360	464	
	1	680925.35	9208422.79	671	512	379	310	467	
	2	681093.49	9208484.94	609	523	342	300	493	
	3	681224.73	9208339.04	596	489	316	354	466	
	4	681075.51	9208334.18	622	501	382	316	508	
	5	681077.77	9208199.09	517	421	309	305	520	
Sarana Olahraga	1	680925.35	9208422.79	496	359	351	331	441	
	2	681093.49	9208484.94	630	373	315	307	494	
	3	681224.73	9208339.04	592	367	345	311	478	
	4	681075.51	9208334.18	511	358	327	332	465	
	5	681077.77	9208199.09	512	388	344	327	453	
	1	680925.35	9208422.79	422	408	345	317	366	
	2	681093.49	9208484.94	413	399	341	336	364	
	3	681224.73	9208339.04	403	385	354	364	376	
	4	681075.51	9208334.18	401	388	349	305	369	
	5	681077.77	9208199.09	423	386	344	291	358	
	1	680925.35	9208422.79	616	391	313	317	436	
	2	681093.49	9208484.94	589	384	322	299	479	
	3	681224.73	9208339.04	565	379	341	344	461	
	4	681075.51	9208334.18	544	385	296	325	452	
	5	681077.77	9208199.09	572	377	355	340	486	

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		x	y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Pabrik I	1	680953.88	9208723.62	410	556	636	512	421
	2	681137.90	9208845.23	385	567	621	497	417
	3	681190.71	9209235.77	398	602	624	432	425
	4	680649.54	9209080.79	387	697	693	416	399
	5	680595.49	9208817.13	406	635	676	440	402
	1	680953.88	9208723.62	451	560	583	387	411
	2	681137.90	9208845.23	402	546	571	391	421
	3	681190.71	9209235.77	412	578	580	398	378
	4	680649.54	9209080.79	398	573	592	409	395
	5	680595.49	9208817.13	393	629	651	411	381
Pabrik I	1	680953.88	9208723.62	441	573	734	568	483
	2	681137.90	9208845.23	437	591	648	556	467
	3	681190.71	9209235.77	416	560	624	474	499
	4	680649.54	9209080.79	399	579	526	477	420
	5	680595.49	9208817.13	420	598	658	454	509
	1	680953.88	9208723.62	401	521	667	492	331
	2	681137.90	9208845.23	396	503	617	474	327
	3	681190.71	9209235.77	410	511	559	458	332
	4	680649.54	9209080.79	417	550	655	435	353
	5	680595.49	9208817.13	387	499	653	448	335
	1	680953.88	9208723.62	446	540	611	550	490
	2	681137.90	9208845.23	431	561	585	571	501
	3	681190.71	9209235.77	422	532	596	565	489
	4	680649.54	9209080.79	416	527	574	586	478
	5	680595.49	9208817.13	427	571	553	582	469

KONSTRUK MODEL									
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)					
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	567	934	1147	985	712	
	2	681405.01	9209671.13	612	780	1218	932	689	
	3	681733.82	9209745.85	669	1081	1212	1002	773	
	4	681969.70	9209654.04	615	1054	1195	998	729	
	5	681608.64	9209563.73	627	1294	1458	1095	698	
	1	681250.30	9209464.10	542	787	917	889	612	
	2	681405.01	9209671.13	531	802	990	859	583	
	3	681733.82	9209745.85	582	865	1106	911	591	
	4	681969.70	9209654.04	573	894	1174	921	604	
	5	681608.64	9209563.73	591	916	989	879	527	
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	496	786	1165	767	633	
	2	681405.01	9209671.13	511	802	1021	738	587	
	3	681733.82	9209745.85	617	815	1140	724	656	
	4	681969.70	9209654.04	620	774	1242	758	701	
	5	681608.64	9209563.73	544	870	1145	764	655	
	1	681250.30	9209464.10	489	610	769	625	566	
	2	681405.01	9209671.13	495	613	759	611	591	
	3	681733.82	9209745.85	476	638	853	673	586	
	4	681969.70	9209654.04	501	642	844	684	603	
	5	681608.64	9209563.73	523	670	856	717	623	
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	422	612	696	621	455	
	2	681405.01	9209671.13	446	637	680	640	484	
	3	681733.82	9209745.85	457	641	801	711	493	
	4	681969.70	9209654.04	493	619	885	731	497	
	5	681608.64	9209563.73	486	682	693	702	522	

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)						
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00		
Pabrik III	Senin, 22/10/18	1	680777.39	9209798.04	621	1232	1217	1137	789	
		2	680986.44	9209484.83	682	1137	1057	996	776	
		3	681254.08	9209921.36	694	1215	1038	1211	759	
		4	681071.36	9209837.52	676	1138	1224	1135	691	
		5	680891.38	9210010.83	689	1011	1119	962	765	
	Selasa, 23/10/18	1	680777.39	9209798.04	625	923	993	892	623	
		2	680986.44	9209484.83	630	897	1134	916	594	
		3	681254.08	9209921.36	641	889	1073	818	585	
		4	681071.36	9209837.52	639	901	1012	973	612	
		5	680891.38	9210010.83	658	869	989	913	685	
	Rabu, 24/10/18	1	680777.39	9209798.04	571	867	1235	777	715	
		2	680986.44	9209484.83	636	862	1042	761	610	
		3	681254.08	9209921.36	621	959	1442	755	654	
		4	681071.36	9209837.52	546	958	1343	731	692	
		5	680891.38	9210010.83	652	875	1021	856	665	
		1	680777.39	9209798.04	522	639	957	730	488	
		2	680986.44	9209484.83	501	649	956	680	460	
		3	681254.08	9209921.36	499	678	852	817	482	
		4	681071.36	9209837.52	522	613	851	795	541	
		5	680891.38	9210010.83	517	660	917	781	501	
		1	680777.39	9209798.04	497	679	886	748	488	
		2	680986.44	9209484.83	437	690	899	680	460	
		3	Jumat, 26/10/18	681254.08	9209921.36	508	696	962	817	482
		4	681071.36	9209837.52	528	657	951	795	541	
		5	680891.38	9210010.83	496	685	922	781	501	

TESTING MODEL								
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Perumahan Karyawan	Senin, 22/10/18	1		496	484	412	319	511
		2		521	502	392	352	491
		3		602	476	374	336	478
		4		573	442	369	381	521
		5		622	519	387	320	480
	Selasa, 23/10/18	1		612	446	341	286	383
		2		610	471	366	389	379
		3		593	469	340	353	366
		4		512	493	373	304	391
		5		520	440	364	286	312
	Rabu, 24/10/18	1		521	423	367	331	454
		2		516	426	359	307	426
		3		548	412	377	333	409
		4		534	405	354	319	396
		5		526	398	336	308	386
	Kamis, 25/10/18	1		578	389	334	327	415
		2		535	416	315	357	398
		3		542	401	321	305	358
		4		546	404	349	329	368
		5		537	379	324	351	361
Jumat, 26/10/18	1		522	363	322	347	496	
	2		541	348	331	325	512	
	3		558	360	305	317	522	
	4		564	325	311	341	520	
	5		566	365	296	312	490	

TESTING MODEL								
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Sarana Olahraga	Senin, 22/10/18	1		617	493	380	361	527
		2		631	442	352	339	510
		3		597	405	339	342	481
		4		612	487	323	313	463
		5		552	432	349	371	448
	Selasa, 23/10/18	1		631	479	339	308	384
		2		625	496	369	321	337
		3		616	510	351	311	340
		4		570	473	347	316	379
		5		523	463	342	310	363
	Rabu, 24/10/18	1		516	374	361	334	379
		2		648	367	371	323	469
		3		586	392	351	329	375
		4		521	403	350	320	438
		5		512	415	373	324	456
	Kamis, 25/10/18	1		624	557	341	353	372
		2		580	503	380	356	370
		3		491	463	352	342	369
		4		481	473	336	371	373
		5		567	495	333	320	376
	Jumat, 26/10/18	1		615	362	289	391	461
		2		678	359	276	325	493
		3		628	363	306	362	487
		4		583	371	326	317	521
		5		596	358	315	328	513

TESTING MODEL								
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Pabrik I	Senin, 22/10/18	1		421	573	629	473	417
		2		405	552	613	412	403
		3		397	591	644	491	398
		4		411	597	621	422	420
		5		392	601	657	435	411
	Selasa, 23/10/18	1		477	597	612	386	391
		2		493	578	621	412	386
		3		461	562	599	432	412
		4		433	557	631	389	346
		5		420	596	642	397	402
	Rabu, 24/10/18	1		383	476	542	468	506
		2		377	475	612	540	463
		3		405	473	595	599	433
		4		376	498	574	612	412
		5		433	526	627	608	394
	Kamis, 25/10/18	1		396	520	549	497	337
		2		384	618	653	477	327
		3		391	679	663	490	323
		4		388	642	669	520	341
		5		398	631	677	554	328
	Jumat, 26/10/18	1		453	534	586	521	520
		2		467	573	599	566	519
		3		479	565	606	587	516
		4		476	570	621	590	498
		5		483	591	596	566	487

TESTING MODEL								
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Pabrik II	Senin, 22/10/18	1		540	997	1213	813	517
		2		595	1002	1018	765	591
		3		625	973	986	779	524
		4		598	961	1126	748	576
		5		681	980	1076	821	611
	Selasa, 23/10/18	1		512	691	749	622	511
		2		493	695	798	694	489
		3		535	702	826	739	520
		4		560	731	918	826	531
		5		573	699	973	911	612
	Rabu, 24/10/18	1		602	734	1211	804	626
		2		676	744	995	784	695
		3		635	761	1135	797	710
		4		571	784	1078	724	740
		5		663	792	1131	807	812
	Kamis, 25/10/18	1		474	520	827	805	543
		2		446	513	867	812	561
		3		471	576	926	821	542
		4		485	552	956	788	588
		5		511	612	863	795	517
	Jumat, 26/10/18	1		475	610	822	698	527
		2		485	672	856	711	533
		3		478	650	869	692	560
		4		490	641	889	688	517
		5		400	623	966	713	498

TESTING MODEL								
Lokasi	Tanggal	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)				
		X	Y	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00
Pabrik III	Senin, 22/10/18	1		611	1131	1432	723	597
		2		660	1024	1315	713	621
		3		652	993	1151	819	583
		4		691	1032	1219	724	570
		5		654	987	1210	829	613
	Selasa, 23/10/18	1		591	784	964	839	605
		2		612	793	1012	947	744
		3		607	802	978	924	729
		4		641	860	1113	961	812
		5		639	857	1096	894	767
	Rabu, 24/10/18	1		558	801	1046	817	784
		2		673	815	1216	838	828
		3		681	805	1078	856	820
		4		650	894	1196	767	712
		5		677	902	1023	891	637
	Kamis, 25/10/18	1		510	596	860	675	528
		2		493	587	926	757	560
		3		520	679	863	641	576
		4		524	691	846	722	684
		5		541	680	906	707	672
	Jumat, 26/10/18	1		471	691	906	721	522
		2		492	676	913	697	542
		3		501	658	915	717	531
		4		521	692	902	801	529
		5		498	688	927	812	546

LAMPIRAN 2

Data Kecepatan dan Arah Angin

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata (m/s)		Panjang sisi box (m)		Arah box (°)			
		x	y							rata (m/s)	box (m)						
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Perumahan Karyawan	1	681691.37	9208663.38	0.2	296	0.4	252	1.5	121	0.3	229	0.4	149	0.56	33.6	209	
		681702.01	9208366.50	0.1	271	1.5	245	1.1	179	1.6	235	0.2	184	0.90	54.0	223	
		3	681555.86	9208573.93	0.2	275	1.1	237	1.4	314	0.7	265	0.1	164	0.70	42.0	251
			681846.92	9208516.00	0.4	281	1.4	229	0.8	173	1.2	256	0.3	186	0.82	49.2	225
			681396.04	9208426.88	0.3	325	1.9	231	1.1	172	0.4	249	0.3	199	0.80	48.0	235
	2	681691.37	9208663.38	0.1	333	0.8	293	1.8	209	0.3	231	0.8	172	0.76	45.6	248	
		681702.01	9208366.50	0.2	224	1.1	262	0.6	139	1.1	256	0.4	183	0.68	40.8	213	
		3	681555.86	9208573.93	0.3	217	1.1	241	1.3	147	0.9	263	0.4	147	0.80	48.0	203
			681846.92	9208516.00	0.3	312	0.8	249	1.8	138	0.6	272	0.3	274	0.76	45.6	249
			681396.04	9208426.88	0.4	261	0.3	237	1.1	161	0.8	259	0.7	261	0.66	39.6	236
	1	681691.37	9208663.38	0.9	267	0.8	263	0.7	183	0.6	226	0.1	210	0.62	37.2	230	
		681702.01	9208366.50	0.4	274	0.3	231	2.2	129	0.4	267	0.6	182	0.78	46.8	217	
		3	681555.86	9208573.93	0.2	181	2.1	238	1.1	172	0.2	249	0.2	115	0.76	45.6	191
			681846.92	9208516.00	0.8	208	1.2	241	0.9	113	0.2	252	0.7	149	0.76	45.6	193
			681396.04	9208426.88	0.3	190	0.7	237	1.2	211	0.4	226	0.2	174	0.56	33.6	208
	1	681691.37	9208663.38	0.8	129	0.8	228	1.0	226	0.2	225	0.2	173	0.60	36.0	196	
		681702.01	9208366.50	0.3	220	0.4	231	0.6	179	0.7	213	0.3	151	0.46	27.6	199	
		3	681555.86	9208573.93	0.2	275	0.6	245	1.2	209	0.8	238	0.2	163	0.60	36.0	226
			681846.92	9208516.00	0.3	324	0.2	253	1.6	190	1.1	251	0.7	261	0.78	46.8	256
			681396.04	9208426.88	0.4	83	0.5	264	0.7	156	0.9	262	0.6	204	0.62	37.2	194
1	681691.37	9208663.38	0.2	197	0.5	249	1.2	177	0.8	265	0.5	180	0.64	38.4	214		
	681702.01	9208366.50	0.4	173	0.2	265	1.1	154	0.3	232	0.2	229	0.44	26.4	211		
	3	681555.86	9208573.93	0.6	191	0.6	241	1.1	167	1.1	267	0.6	248	0.80	48.0	223	
		681846.92	9208516.00	0.5	203	1.2	267	1.4	159	0.7	217	0.2	226	0.80	48.0	214	
		681396.04	9208426.88	0.2	98	1.1	229	1.2	165	0.9	224	0.3	204	0.74	44.4	184	

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata (m/s)		Panjang sisi box (m)		Arah box (°)			
		x	y							rata (m/s)	box (m)						
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Sarana Olahraga	1	680925.35	9208422.79	0.3	226	0.8	196	1.3	71	0.8	279	0.6	228	0.76	45.6	200	
	2	681093.49	9208484.94	0.1	263	0.9	252	1.0	63	0.4	284	0.3	259	0.53	31.8	224	
	3	Senin, 22/10/18	681224.73	9208339.04	0.4	144	0.7	246	1.9	175	1.0	247	0.4	360	0.87	52.4	234
	4	681075.51	9208334.18	0.2	243	0.3	218	1.4	65	1.3	255	0.3	284	0.69	41.4	213	
	5	681077.77	9208199.09	0.4	275	1.0	216	1.7	143	0.8	263	0.3	271	0.83	49.7	234	
	1	680925.35	9208422.79	0.1	235	1.1	232	0.9	159	0.9	265	0.3	248	0.66	39.6	228	
	2	681093.49	9208484.94	0.3	264	0.6	98	1.7	163	0.3	274	0.1	264	0.60	36.0	213	
	3	Selasa, 23/10/18	681224.73	9208339.04	0.2	258	0.7	206	2.4	164	0.6	263	0.3	243	0.84	50.4	227
	4	681075.51	9208334.18	0.3	249	0.1	276	1.1	285	1.2	285	0.5	285	0.64	38.4	276	
	5	681077.77	9208199.09	0.4	256	1.4	261	1.6	292	0.9	279	0.1	279	0.88	52.8	273	
	1	680925.35	9208422.79	0.2	262	0.7	257	1.1	336	0.6	276	0.5	237	0.62	37.2	274	
	2	681093.49	9208484.94	0.4	237	0.9	277	2.4	299	0.5	290	0.3	277	0.90	54.0	276	
	3	Rabu, 24/10/18	681224.73	9208339.04	0.4	211	0.3	254	1.6	284	0.8	219	0.1	299	0.64	38.4	253
	4	681075.51	9208334.18	0.5	209	0.6	152	1.2	286	0.5	236	0.4	343	0.64	38.4	245	
	5	681077.77	9208199.09	0.2	219	0.5	196	1.9	239	0.7	262	0.2	236	0.70	42.0	230	
	1	680925.35	9208422.79	0.2	236	0.9	236	1.5	265	0.4	299	0.3	262	0.66	39.6	260	
	2	681093.49	9208484.94	0.2	211	1.1	268	1.9	121	0.9	270	0.2	276	0.86	51.6	229	
	3	Kamis, 25/10/18	681224.73	9208339.04	0.6	209	0.6	182	1.4	296	0.6	256	0.2	280	0.68	40.8	245
	4	681075.51	9208334.18	0.3	235	0.8	223	1.9	289	0.2	249	0.2	268	0.68	40.8	253	
	5	681077.77	9208199.09	0.1	264	0.4	234	1.8	261	0.9	271	0.4	302	0.72	43.2	266	
1	680925.35	9208422.79	0.1	215	0.4	266	1.9	247	0.9	286	0.6	283	0.78	46.8	259		
2	681093.49	9208484.94	0.5	237	0.3	225	1.2	150	0.5	297	0.2	289	0.54	32.4	240		
3	Jumat, 26/10/18	681224.73	9208339.04	0.6	219	0.8	231	1.7	169	0.7	239	0.2	271	0.80	48.0	226	
4	681075.51	9208334.18	0.3	263	0.6	241	1.5	186	0.6	244	0.4	245	0.68	40.8	236		
5	681077.77	9208199.09	0.2	149	0.8	56	1.2	263	0.3	109	0.4	259	0.58	34.8	167		

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin							Kec rata- rata (m/s)	Panjang sisi box (m)	Arah box (°)				
		x	y														
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Pabrik I	Senin, 22/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.3	263	0.9	228	2.1	289	1.1	320	0.1	249	0.90	54.0	270
		2	681137.90	9208845.23	0.3	246	1.2	232	1.9	326	1.3	288	0.3	264	1.00	60.0	271
		3	681190.71	9209235.77	0.7	223	0.7	287	2.0	356	1.2	285	0.2	207	0.96	57.6	272
		4	680649.54	9209080.79	0.6	214	0.8	256	1.8	277	1.1	245	0.4	213	0.94	56.4	241
		5	680595.49	9208817.13	0.5	251	0.5	215	1.8	300	1.3	271	0.4	229	0.90	54.0	253
	Selasa, 23/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.6	267	0.9	278	1.6	324	1.3	303	0.5	231	0.98	58.8	281
		2	681137.90	9208845.23	0.4	195	1.2	284	1.4	308	1.5	314	0.5	252	1.00	60.0	271
		3	681190.71	9209235.77	0.3	246	1.1	244	1.7	295	0.8	352	0.2	172	0.82	49.2	262
		4	680649.54	9209080.79	0.6	284	0.8	262	1.8	312	0.7	258	0.5	168	0.88	52.8	257
		5	680595.49	9208817.13	0.3	276	1.3	217	2.1	277	1.1	275	0.3	139	1.02	61.2	237
	Rabu, 24/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.4	282	1.1	265	2.0	219	1.5	236	0.4	148	1.08	64.8	230
		2	681137.90	9208845.23	0.3	241	1.4	273	2.5	279	1.1	184	0.2	141	1.10	66.0	224
		3	681190.71	9209235.77	0.4	196	0.9	280	1.9	238	0.5	156	0.3	163	0.80	48.0	207
		4	680649.54	9209080.79	0.7	188	1.2	279	2.6	224	0.8	228	0.1	271	1.08	64.8	238
		5	680595.49	9208817.13	0.2	245	1.2	230	2.3	107	1.5	209	0.3	156	1.10	66.0	189
	Kamis, 25/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.3	272	1.7	296	2.4	54	0.8	204	0.2	174	1.08	64.8	200
		2	681137.90	9208845.23	0.5	241	1.5	219	1.8	265	1.3	189	0.5	247	1.12	67.2	232
		3	681190.71	9209235.77	0.2	263	1.3	262	1.9	266	1.2	179	0.7	239	1.06	63.6	242
		4	680649.54	9209080.79	0.5	239	0.9	267	2.6	236	0.7	208	0.3	294	1.00	60.0	249
		5	680595.49	9208817.13	0.4	282	1.5	251	2.3	287	0.9	117	0.4	227	1.10	66.0	233
	Jumat, 26/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.3	307	1.2	258	2.1	323	1.8	95	0.3	246	1.14	68.4	246
		2	681137.90	9208845.23	0.7	262	0.9	173	1.9	308	1.3	181	0.5	234	1.06	63.6	232
		3	681190.71	9209235.77	0.5	236	1.1	269	2.4	312	1.1	218	0.2	125	1.06	63.6	232
		4	680649.54	9209080.79	0.2	300	1.2	226	2.8	284	0.9	94	0.3	233	1.08	64.8	227
		5	680595.49	9208817.13	0.6	118	1.5	239	2.1	257	0.5	209	0.2	198	0.98	58.8	204

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata (m/s)	Panjang sisi box (m)	Arah box (°)					
		x	y														
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	0.4	229	1.2	307	2.0	196	0.6	273	0.4	284	0.92	55.2	258	
	2	681405.01	9209671.13	0.3	207	1.4	229	1.9	207	0.4	261	0.1	271	0.82	49.2	235	
	3	Senin, 22/10/18	681733.82	9209745.85	0.2	225	0.9	295	0.9	218	1.1	288	0.8	246	0.78	46.8	254
	4	681969.70	9209654.04	0.4	217	1.3	247	1.8	228	1.3	264	0.4	141	1.04	62.4	219	
	5	681608.64	9209563.73	0.4	254	1.1	242	2.0	356	0.5	276	0.7	309	0.94	56.4	287	
	1	681250.30	9209464.10	0.6	217	0.9	338	1.2	211	0.3	192	0.2	276	0.64	38.4	247	
	2	681405.01	9209671.13	0.4	195	1.1	298	1.5	263	0.8	251	0.2	248	0.80	48.0	251	
	3	Selasa, 23/10/18	681733.82	9209745.85	0.4	228	0.6	313	2.1	213	0.4	295	0.2	259	0.74	44.4	262
	4	681969.70	9209654.04	0.2	239	0.8	281	1.8	229	0.7	298	0.3	263	0.76	45.4	262	
	5	681608.64	9209563.73	0.3	217	0.4	237	2.4	255	1.1	197	0.5	252	0.94	56.4	232	
	1	681250.30	9209464.10	0.4	273	0.6	291	1.8	267	0.7	201	0.4	277	0.78	46.8	262	
	2	681405.01	9209671.13	0.6	198	0.4	311	1.4	217	0.9	212	0.2	161	0.70	42.0	220	
	3	Rabu, 24/10/18	681733.82	9209745.85	0.3	229	0.8	286	2.5	181	1.3	259	0.6	98	1.10	66.0	211
	4	681969.70	9209654.04	0.8	204	1.1	273	1.9	144	1.2	262	0.4	189	1.08	64.8	214	
	5	681608.64	9209563.73	0.4	181	1.4	104	2.8	298	0.5	177	0.3	106	1.08	64.8	173	
	1	681250.30	9209464.10	0.6	217	0.5	218	2.5	168	0.5	217	0.5	120	0.92	55.2	188	
	2	681405.01	9209671.13	0.9	176	0.8	98	1.5	146	0.6	197	0.3	169	0.82	49.2	157	
	3	Kamis, 25/10/18	681733.82	9209745.85	0.2	184	0.9	286	1.4	244	0.9	141	0.7	182	0.81	48.7	207
	4	681969.70	9209654.04	0.3	235	1.2	193	0.9	218	0.6	156	0.3	126	0.66	39.6	186	
	5	681608.64	9209563.73	0.2	250	1.1	280	2.8	176	1.3	98	0.3	147	1.14	68.4	190	
	1	681250.30	9209464.10	0.5	229	1.2	146	1.2	181	1.1	204	0.2	202	0.84	50.4	192	
	2	681405.01	9209671.13	0.5	237	0.9	85	1.8	236	1.5	73	0.3	194	1.00	60.0	165	
	3	Jumat, 26/10/18	681733.82	9209745.85	0.6	239	1.7	211	2.4	215	0.8	46	0.3	146	1.16	69.6	171
	4	681969.70	9209654.04	0.4	207	0.8	184	1.9	177	1.2	258	0.6	139	0.98	58.8	193	
	5	681608.64	9209563.73	0.2	238	0.9	201	2.1	108	1.1	179	0.5	145	0.96	57.6	174	

KONSTRUK MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin							Kec rata- rata (m/s)		Panjang sisi box (m)		Arah box (°)		
		x	y								rata (m/s)	box (m)					
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Pabrik III	1	680777.39	9209798.04	0.2	262	0.3	139	1.9	273	1.3	193	0.8	96	0.90	54.0	193	
	2	680986.44	9209484.83	0.4	258	0.6	173	2.1	269	0.3	204	0.8	187	0.84	50.4	218	
	3	Senin, 22/10/18	681254.08	9209921.36	0.5	247	0.7	193	1.7	295	0.5	195	0.4	295	0.76	45.6	245
	4	681071.36	9209837.52	0.3	263	0.5	205	2.1	247	0.8	178	0.2	281	0.78	46.8	235	
	5	680891.38	9210010.83	0.4	270	1.1	185	2.5	242	1.1	255	0.7	137	1.16	69.6	218	
	1	680777.39	9209798.04	0.5	249	1.3	225	1.5	338	0.4	360	0.6	301	0.86	51.6	295	
	2	680986.44	9209484.83	0.3	329	0.3	264	2.1	329	1.2	263	0.2	190	0.82	49.2	275	
	3	Selasa, 23/10/18	681254.08	9209921.36	0.4	347	0.8	259	1.8	313	1.1	213	0.5	89	0.92	55.2	244
	4	681071.36	9209837.52	0.4	338	0.7	285	2.3	284	0.6	175	0.3	264	0.86	51.6	269	
	5	680891.38	9210010.83	0.8	327	1.2	321	1.4	354	0.4	214	0.2	321	0.79	47.5	307	
	1	680777.39	9209798.04	0.6	190	1.4	276	1.3	301	0.3	265	0.6	199	0.84	50.4	246	
	2	680986.44	9209484.83	0.8	179	0.9	205	1.7	291	0.7	240	0.4	305	0.90	54.0	244	
	3	Rabu, 24/10/18	681254.08	9209921.36	0.4	183	0.8	172	2.4	272	0.3	183	0.5	278	0.88	52.8	218
	4	681071.36	9209837.52	0.2	168	1.2	181	1.6	273	1.1	179	0.4	195	0.90	54.0	199	
	5	680891.38	9210010.83	0.5	197	1.5	130	1.9	228	1.2	190	0.1	201	1.04	62.4	189	
	1	680777.39	9209798.04	0.2	152	1.1	252	1.9	218	0.9	168	0.7	106	0.96	57.6	179	
	2	680986.44	9209484.83	0.4	180	1.7	139	2.8	238	0.5	152	0.5	353	1.18	70.8	212	
	3	Kamis, 25/10/18	681254.08	9209921.36	0.6	163	1.1	215	2.0	254	1.1	166	0.3	245	1.02	61.2	209
	4	681071.36	9209837.52	0.3	178	0.6	126	1.5	257	1.5	179	0.4	261	0.86	51.6	200	
	5	680891.38	9210010.83	0.4	191	1.4	109	1.4	201	0.5	176	0.7	287	0.88	52.8	193	
	1	680777.39	9209798.04	0.2	46	0.9	262	1.5	288	1.2	181	0.6	298	0.88	52.8	215	
	2	680986.44	9209484.83	0.4	52	0.9	184	1.1	232	0.4	169	0.3	238	0.62	37.2	175	
	3	Jumat, 26/10/18	681254.08	9209921.36	0.4	129	1.2	263	1.9	211	0.8	174	0.6	299	0.98	58.8	215
	4	681071.36	9209837.52	0.3	143	1.3	194	1.7	259	0.9	207	0.4	321	0.92	55.2	225	
	5	680891.38	9210010.83	0.6	202	1.1	148	2.4	187	0.5	218	0.5	301	1.02	61.2	211	

TESTING MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata(m/s)		Panjang sisi	Arah box				
		x	y							rata(m/s)	box (m)	(°)					
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Perumahan Karyawan	Senin, 22/10/18	1	681691.37	9208663.38	0.1	271	1.4	229	1.5	284	0.3	245	0.2	179	0.70	42.0	242
		2	681702.01	9208366.50	0.3	275	1.1	293	0.8	164	0.7	229	0.3	314	0.64	38.4	255
		3	681555.86	9208573.93	0.4	312	0.3	241	0.6	183	0.9	293	0.4	173	0.52	31.2	240
		4	681846.92	9208516.00	0.3	208	0.3	183	1.8	182	0.4	241	0.3	209	0.62	37.2	205
		5	681396.04	9208426.88	0.4	220	0.6	115	1.0	174	0.2	231	0.7	147	0.58	34.8	177
	Selasa, 23/10/18	1	681691.37	9208663.38	0.4	83	0.6	151	1.6	261	0.8	237	0.2	172	0.72	43.2	181
		2	681702.01	9208366.50	0.2	191	0.3	179	1.1	229	1.1	253	0.2	154	0.58	34.6	201
		3	681555.86	9208573.93	0.3	237	0.7	314	1.0	248	0.9	241	0.7	167	0.72	43.2	241
		4	681846.92	9208516.00	0.4	231	0.3	209	1.7	360	0.4	252	0.2	63	0.60	36.0	223
		5	681396.04	9208426.88	0.5	241	0.9	147	1.7	271	1.3	246	0.4	163	0.96	57.6	214
	Rabu, 24/10/18	1	681691.37	9208663.38	0.2	231	1.1	172	2.4	285	0.6	98	0.1	285	0.88	52.8	214
		2	681702.01	9208366.50	0.6	237	0.8	226	1.6	237	1.2	276	0.3	284	0.90	54.0	252
		3	681555.86	9208573.93	0.2	253	0.8	156	1.9	343	0.5	257	0.1	265	0.70	42.0	255
		4	681846.92	9208516.00	0.6	265	1.2	159	1.5	280	0.8	152	0.2	121	0.86	51.6	195
		5	681396.04	9208426.88	0.5	229	0.8	179	1.4	289	0.7	268	0.2	326	0.72	43.2	258
	Kamis, 25/10/18	1	681691.37	9208663.38	0.4	139	0.9	172	1.8	264	0.6	223	0.2	356	0.78	46.8	231
		2	681702.01	9208366.50	0.1	138	1.3	139	1.7	213	0.5	231	0.4	324	0.80	48.0	209
		3	681555.86	9208573.93	0.3	129	0.9	172	1.2	252	0.3	287	0.2	312	0.58	34.8	230
		4	681846.92	9208516.00	0.4	113	1.1	226	1.6	168	0.7	284	0.3	238	0.82	49.2	206
		5	681396.04	9208426.88	0.4	179	1.4	156	1.1	271	0.6	279	0.5	54	0.80	48.0	188
Jumat, 26/10/18	1	681691.37	9208663.38	0.6	167	0.3	261	2.0	227	0.7	230	0.7	265	0.86	51.6	230	
	2	681702.01	9208366.50	0.1	325	0.7	210	1.9	125	0.2	173	0.5	287	0.68	40.8	224	
	3	681555.86	9208573.93	0.6	129	1.4	182	1.8	233	0.7	226	0.4	308	0.98	58.8	216	
	4	681846.92	9208516.00	0.2	275	0.6	151	2.0	113	0.3	307	0.6	312	0.74	44.4	232	
	5	681396.04	9208426.88	0.4	173	1.3	229	1.7	209	0.5	295	0.2	284	0.82	49.2	238	

TESTING MODEL																	
Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata (m/s)	Panjang sisi box (m)	Arah box (°)					
		x	y	6:00		9:00		12:00					15:00		18:00		
Sarana Olahraga	Senin, 22/10/18	1	680925.35	9208422.79	0.2	181	1.4	63	1.4	213	0.8	164	0.3	172	0.82	49.0	159
		2	681093.49	9208484.94	0.4	220	1.1	285	0.6	172	0.4	172	0.2	179	0.54	32.4	206
		3	681224.73	9208339.04	0.8	173	2.1	336	2.2	271	1.3	115	0.5	190	1.38	82.8	217
		4	681075.51	9208334.18	0.3	203	0.6	299	0.6	239	0.6	151	0.4	159	0.50	30.0	210
		5	681077.77	9208199.09	0.2	98	0.2	121	1.6	234	0.5	180	0.2	164	0.54	32.4	159
	Selasa, 23/10/18	1	680925.35	9208422.79	0.4	144	0.8	247	1.1	233	0.7	248	0.6	299	0.72	43.2	234
		2	681093.49	9208484.94	0.5	264	0.9	169	1.4	284	0.9	360	0.3	239	0.79	47.6	263
		3	681224.73	9208339.04	0.1	209	1.0	326	1.3	246	0.2	243	0.4	296	0.59	35.6	264
		4	681075.51	9208334.18	0.4	211	0.7	277	1.4	263	0.7	277	0.2	169	0.67	40.3	239
		5	681077.77	9208199.09	0.2	264	0.7	295	1.7	189	1.1	343	0.3	263	0.80	48.0	271
	Rabu, 24/10/18	1	680925.35	9208422.79	0.4	263	0.3	219	1.7	169	1.1	280	0.3	289	0.76	45.6	244
		2	681093.49	9208484.94	0.4	214	0.5	107	1.1	126	1.5	283	0.2	277	0.74	44.4	201
		3	681224.73	9208339.04	0.5	246	0.9	265	1.6	139	1.1	271	0.3	312	0.88	52.8	247
		4	681075.51	9208334.18	0.2	188	1.1	308	1.6	96	1.1	249	0.3	224	0.86	51.6	213
		5	681077.77	9208199.09	0.5	263	0.8	257	1.4	187	0.8	213	0.8	266	0.86	51.6	237
	Kamis, 25/10/18	1	680925.35	9208422.79	0.3	282	0.8	207	1.9	137	1.3	172	0.2	308	0.90	54.0	221
		2	681093.49	9208484.94	0.4	259	0.8	228	1.2	264	0.7	271	0.5	284	0.72	43.2	261
		3	681224.73	9208339.04	0.7	249	1.1	263	1.4	195	1.1	294	0.6	218	0.98	58.8	244
		4	681075.51	9208334.18	0.2	238	0.9	181	2.4	106	0.4	246	0.3	213	0.84	50.4	197
		5	681077.77	9208199.09	0.2	247	1.3	298	1.6	353	1.1	125	0.3	217	0.90	54.0	248
	Jumat, 26/10/18	1	680925.35	9208422.79	0.4	265	1.5	168	2.4	245	0.7	284	0.6	146	1.12	67.2	222
		2	681093.49	9208484.94	0.3	279	1.2	244	1.9	287	1.3	141	0.1	176	0.96	57.6	225
		3	681224.73	9208339.04	0.6	236	1.4	262	1.2	290	0.6	259	0.2	108	0.80	48.0	231
		4	681075.51	9208334.18	0.2	244	1.3	280	1.7	262	0.5	98	0.2	276	0.78	46.8	232
		5	681077.77	9208199.09	0.5	197	0.9	271	1.2	271	1.2	169	0.2	289	0.80	48.0	239

TESTING MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata(m/s)		Panjang sisi	Arah box				
		x	y	6:00		9:00		12:00		15:00		18:00		box (m)	(°)		
Pabrik I	Senin, 22/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.6	216	0.9	228	1.9	320	0.9	287	0.3	246	0.92	55.2	259
		2	681137.90	9208845.23	0.4	264	1.2	287	1.5	285	0.6	215	0.2	214	0.78	46.8	253
		3	681190.71	9209235.77	0.5	251	0.7	215	2.1	352	0.9	284	0.4	251	0.92	55.2	271
		4	680649.54	9209080.79	0.6	197	0.5	244	1.8	184	0.6	262	0.3	195	0.76	45.6	216
		5	680595.49	9208817.13	0.3	259	1.1	280	1.7	228	0.7	273	0.3	284	0.82	49.2	265
	Selasa, 23/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.2	177	1.3	296	2.1	189	0.9	262	0.4	241	0.98	58.8	233
		2	681137.90	9208845.23	0.3	156	1.1	262	2.5	117	1.3	173	0.5	245	1.14	68.4	191
		3	681190.71	9209235.77	0.4	46	1.2	251	2.6	218	1.3	269	0.8	239	1.26	75.6	205
		4	680649.54	9209080.79	0.4	195	1.5	173	1.9	209	1.5	249	0.7	356	1.20	72.0	236
		5	680595.49	9208817.13	0.4	255	1.2	269	2.8	264	0.7	207	0.2	277	1.06	63.6	254
	Rabu, 24/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.2	213	1.3	288	1.8	213	0.8	213	0.3	295	0.88	52.6	244
		2	681137.90	9208845.23	0.5	214	1.1	303	2.0	172	1.3	252	0.6	238	1.10	66.0	236
		3	681190.71	9209235.77	0.5	240	0.8	258	2.5	141	1.8	168	0.5	266	1.22	73.2	215
		4	680649.54	9209080.79	0.5	179	0.4	236	2.4	271	0.9	141	0.7	323	0.98	58.8	230
		5	680595.49	9208817.13	0.3	166	1.1	228	2.6	239	0.4	156	0.2	312	0.92	55.2	220
	Kamis, 25/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.4	207	1.2	204	1.9	233	0.3	239	0.6	285	0.88	52.8	234
		2	681137.90	9208845.23	0.4	300	0.9	189	2.1	232	1.1	227	0.4	271	0.98	58.8	244
		3	681190.71	9209235.77	0.6	312	0.7	117	1.8	256	0.5	326	0.7	352	0.86	51.6	273
		4	680649.54	9209080.79	0.4	279	0.3	181	1.5	262	0.6	356	0.5	156	0.66	39.6	247
		5	680595.49	9208817.13	0.4	238	0.8	94	1.8	265	1.5	300	0.2	204	0.94	56.4	220
	Jumat, 26/10/18	1	680953.88	9208723.62	0.5	265	0.5	356	1.9	279	0.8	312	0.4	208	0.82	49.2	284
		2	681137.90	9208845.23	0.7	323	1.1	308	1.5	219	1.1	279	0.5	218	0.98	58.8	269
		3	681190.71	9209235.77	0.2	284	1.1	295	1.2	173	1.5	54	0.1	213	0.82	49.2	204
		4	680649.54	9209080.79	0.3	207	1.2	238	1.8	214	1.2	266	0.5	172	1.00	60.0	219
		5	680595.49	9208817.13	0.4	263	0.9	265	2.6	195	1.1	287	0.4	156	1.08	64.8	233

TESTING MODEL																	
Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata (m/s)	Panjang sisi box (m)	Arah box (°)					
		x	y	6:00		9:00		12:00					15:00		18:00		
Pabrik II	Senin, 22/10/18	1	681250.30	9209464.10	0.7	219	1.2	307	1.8	207	1.2	207	0.1	229	1.00	60.0	234
		2	681405.01	9209671.13	0.3	279	0.9	295	1.8	254	1.3	195	0.2	313	0.90	54.0	267
		3	681733.82	9209745.85	0.6	54	0.8	281	2.0	228	0.7	198	0.4	286	0.90	54.0	209
		4	681969.70	9209654.04	0.4	323	1.4	286	1.9	198	0.8	204	0.5	98	1.00	60.0	222
		5	681608.64	9209563.73	0.4	257	1.2	98	2.8	204	1.3	176	0.5	280	1.24	74.4	203
	Selasa, 23/10/18	1	681250.30	9209464.10	0.3	207	0.9	280	2.0	176	0.7	237	0.2	85	0.82	49.2	197
		2	681405.01	9209671.13	0.8	356	1.5	211	0.9	229	1.1	261	0.2	184	0.90	54.0	248
		3	681733.82	9209745.85	0.2	213	1.1	207	2.1	207	0.5	298	0.3	261	0.84	50.4	237
		4	681969.70	9209654.04	0.4	267	1.4	228	1.9	263	0.4	212	0.3	276	0.88	52.8	249
		5	681608.64	9209563.73	0.3	144	1.1	263	1.5	267	0.5	177	0.1	251	0.70	42.0	220
	Rabu, 24/10/18	1	681250.30	9209464.10	0.4	244	1.1	229	1.8	168	0.4	197	0.7	259	0.88	52.8	219
		2	681405.01	9209671.13	0.4	181	0.8	144	1.9	218	1.3	73	0.2	197	0.92	55.2	163
		3	681733.82	9209745.85	0.8	215	0.4	146	1.7	236	0.6	258	0.2	98	0.74	44.4	191
		4	681969.70	9209654.04	0.8	177	1.1	181	1.8	108	0.9	246	0.3	46	0.98	58.8	152
		5	681608.64	9209563.73	0.2	295	0.8	215	1.3	261	1.5	141	0.3	179	0.82	49.2	218
	Kamis, 25/10/18	1	681250.30	9209464.10	0.4	247	0.9	261	1.6	276	1.1	259	0.3	141	0.86	51.6	237
		2	681405.01	9209671.13	0.4	329	0.3	276	2.8	298	0.3	277	0.6	248	0.88	52.8	286
		3	681733.82	9209745.85	0.4	354	0.7	295	1.4	262	0.8	106	0.4	252	0.74	44.4	254
		4	681969.70	9209654.04	0.4	272	1.3	201	1.9	197	0.4	169	0.2	161	0.84	50.4	200
		5	681608.64	9209563.73	0.3	238	0.3	262	2.3	156	0.6	126	0.3	182	0.76	45.6	193
	Jumat, 26/10/18	1	681250.30	9209464.10	0.6	257	0.8	141	1.9	146	0.3	194	0.6	194	0.84	50.4	186
		2	681405.01	9209671.13	0.4	201	1.4	98	0.9	284	0.9	298	0.4	139	0.80	48.0	204
		3	681733.82	9209745.85	0.8	217	0.9	204	2.1	259	1.5	291	0.3	242	1.12	67.2	243
		4	681969.70	9209654.04	0.3	168	0.9	258	2.5	189	0.8	273	0.7	298	1.04	62.4	237
		5	681608.64	9209563.73	0.6	218	0.8	309	2.4	126	0.5	193	0.6	286	0.98	58.8	226

TESTING MODEL

Lokasi	Tanggal	Posisi		Kecepatan & Arah Angin						Kec rata- rata(m/s)		Panjang sisi	Arah box				
		x	y							rata(m/s)	box (m)	(°)					
				6:00	9:00	12:00	15:00	18:00									
Pabrik III	Senin, 22/10/18	1	680777.39	9209798.04	0.7	256	0.8	173	2.0	258	1.3	195	0.1	258	0.98	58.8	228
		2	680986.44	9209484.83	0.5	211	1.1	193	1.6	249	1.5	255	0.2	263	0.98	58.8	234
		3	681254.08	9209921.36	0.4	211	0.8	264	1.7	338	0.8	263	0.4	249	0.82	49.2	265
		4	681071.36	9209837.52	0.3	263	0.9	285	2.5	179	1.5	183	0.5	338	1.14	68.4	250
		5	680891.38	9210010.83	0.4	251	1.5	172	1.8	168	0.5	168	0.3	168	0.90	54.0	185
	Selasa, 23/10/18	1	680777.39	9209798.04	0.2	195	0.9	139	2.6	163	0.8	176	0.3	180	0.96	57.6	171
		2	680986.44	9209484.83	0.5	246	1.2	184	2.4	46	0.8	174	0.2	46	1.02	61.2	139
		3	681254.08	9209921.36	0.3	284	0.9	269	1.5	52	1.2	295	0.7	129	0.92	55.2	206
		4	681071.36	9209837.52	0.2	188	1.1	329	1.8	143	1.1	329	0.5	204	0.94	56.4	239
		5	680891.38	9210010.83	0.3	241	0.4	284	2.5	178	1.1	354	0.3	360	0.92	55.2	283
	Rabu, 24/10/18	1	680777.39	9209798.04	0.4	282	0.6	291	1.9	263	0.3	272	0.1	213	0.66	39.6	264
		2	680986.44	9209484.83	0.2	236	0.5	273	2.5	175	0.9	218	0.7	265	0.96	57.6	233
		3	681254.08	9209921.36	0.3	207	1.1	254	0.9	183	0.6	257	0.3	179	0.64	38.2	216
		4	681071.36	9209837.52	0.9	217	0.8	201	2.1	168	0.9	232	0.2	166	0.98	58.8	197
		5	680891.38	9210010.83	0.6	239	0.3	232	1.5	176	1.1	295	0.6	169	0.82	49.2	222
	Kamis, 25/10/18	1	680777.39	9209798.04	0.5	184	0.7	259	1.4	295	0.8	281	0.5	207	0.77	46.3	245
		2	680986.44	9209484.83	0.4	239	0.8	295	1.6	89	0.5	89	0.3	295	0.72	43.2	201
		3	681254.08	9209921.36	0.3	258	1.7	89	2.8	305	1.2	305	0.3	338	1.26	75.6	259
		4	681071.36	9209837.52	0.4	270	1.3	321	1.5	195	0.6	195	0.8	329	0.92	55.2	262
		5	680891.38	9210010.83	0.4	329	0.5	278	2.0	245	0.7	201	0.4	354	0.80	48.0	281
Jumat, 26/10/18	1	680777.39	9209798.04	0.6	338	0.8	353	0.9	299	1.2	245	0.5	228	0.80	48.0	293	
	2	680986.44	9209484.83	0.4	190	0.8	261	1.9	139	1.1	287	0.4	257	0.92	55.2	227	
	3	681254.08	9209921.36	0.4	183	0.6	329	1.8	205	0.5	299	0.4	288	0.74	44.4	261	
	4	681071.36	9209837.52	0.3	152	0.9	179	1.9	259	0.8	301	0.4	211	0.86	51.6	220	
	5	680891.38	9210010.83	0.5	179	1.3	152	0.9	172	0.9	295	0.4	214	0.80	48.0	202	

LAMPIRAN 3

Data untuk Testing Model

Lokasi	Posisi		Net_CO2					Rata-Rata	
	X	Y	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat		
Perumahan Karyawan	1	681691.37	9208663.38	-117	-488	-275	-467	-363	-342
	2	681702.01	9208366.50	-142	-405	-276	-341	-425	-318
	3	681555.86	9208573.93	-381	-397	-349	-394	-463	-397
	4	681846.92	9208516.00	-340	-183	-345	-376	-508	-350
	5	681396.04	9208426.88	-371	-288	-350	-393	-485	-377
Sarana Olahraga	1	680925.35	9208422.79	-376	-483	-336	-356	-579	-426
	2	681093.49	9208484.94	-494	-435	-625	-304	-748	-521
	3	681224.73	9208339.04	-473	-410	-477	-174	-604	-428
	4	681075.51	9208334.18	-426	-348	-314	-138	-494	-344
	5	681077.77	9208199.09	-329	-262	-264	-320	-542	-344
Pabrik I	1	680953.88	9208723.62	313	176	243	259	201	239
	2	681137.90	9208845.23	292	130	310	452	240	285
	3	681190.71	9209235.77	400	180	253	521	214	314
	4	680649.54	9209080.79	344	229	339	498	233	329
	5	680595.49	9208817.13	413	322	270	476	221	341
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	1003	382	552	362	430	546
	2	681405.01	9209671.13	779	476	289	442	507	499
	3	681733.82	9209745.85	656	425	481	495	500	511
	4	681969.70	9209654.04	770	484	602	445	465	553
	5	681608.64	9209563.73	613	484	472	405	689	533
Pabrik III	1	680777.39	9209798.04	1105	519	672	347	590	646
	2	680986.44	9209484.83	803	563	535	440	523	573
	3	681254.08	9209921.36	728	558	438	424	487	527
	4	681071.36	9209837.52	690	648	633	463	505	588
	5	680891.38	9210010.83	754	611	525	436	571	579

Lokasi	Posisi		Konsentrasi CO ₂ (ppm)			Fraksi RTH (%)			Penggunaan Lahan (%)			
	X	Y	Cmin	Cmax	Cavg	P	D	R	Lnrth	Lr	Lp	Lk
Perumahan Karyawan	1	681691.37	9208663.38	286	612	407	96.8	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0
	2	681702.01	9208366.50	307	610	414	21.0	41.8	30.7	6.5	0.0	0.0
	3	681555.86	9208573.93	305	602	406	12.4	11.0	36.6	40.0	0.0	0.0
	4	681846.92	9208516.00	304	573	405	55.1	0.0	0.0	15.5	29.4	0.0
	5	681396.04	9208426.88	286	622	396	47.2	4.2	12.2	27.9	0.0	8.4
Sarana Olahraga	1	680925.35	9208422.79	289	631	422	90.3	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0
	2	681093.49	9208484.94	276	678	422	60.4	0.0	0.0	39.6	0.0	0.0
	3	681224.73	9208339.04	306	628	408	86.7	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0
	4	681075.51	9208334.18	313	612	407	72.5	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0
	5	681077.77	9208199.09	310	596	406	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pabrik I	1	680953.88	9208723.62	337	629	500	39.4	0.0	0.0	51.5	0.0	9.1
	2	681137.90	9208845.23	327	653	513	66.9	0.0	0.0	33.1	0.0	0.0
	3	681190.71	9209235.77	323	679	526	40.8	0.0	0.0	35.0	0.0	24.2
	4	680649.54	9209080.79	341	669	519	47.7	0.0	0.0	52.3	0.0	0.0
	5	680595.49	9208817.13	328	677	529	28.0	41.4	21.7	8.9	0.0	0.0
Pabrik II	1	681250.30	9209464.10	474	1213	723	0.0	18.9	0.0	36.3	0.0	44.8
	2	681405.01	9209671.13	446	1018	722	36.2	4.7	0.0	59.1	0.0	0.0
	3	681733.82	9209745.85	471	1135	737	0.0	2.2	0.0	39.0	0.0	58.9
	4	681969.70	9209654.04	485	1126	747	0.0	0.0	0.0	23.8	0.0	76.2
	5	681608.64	9209563.73	400	1131	770	0.0	4.5	42.3	25.5	0.0	27.7
Pabrik III	1	680777.39	9209798.04	471	1432	777	11.1	4.3	17.5	56.2	0.0	10.9
	2	680986.44	9209484.83	492	1315	802	41.0	0.0	0.0	33.7	0.0	25.2
	3	681254.08	9209921.36	501	1151	785	5.8	5.5	0.0	69.6	0.0	19.1
	4	681071.36	9209837.52	521	1219	814	0.0	0.0	0.0	30.5	0.0	69.5
	5	680891.38	9210010.83	498	1210	811	2.2	0.0	0.0	22.5	0.0	75.3
Rata-rata			376	857	575	38.5	5.5	6.4	30.4	1.2	16.3	1.7



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Proposal Tesis
(SPT - 03)

Nama Mahasiswa : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Judul Tesis : Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Untuk Pengendalian Karbon Dioksida (CO₂)
Udara Ambien Di Kawasan Industri Petrokimia
Program Studi : S2 Teknik Lingkungan FTSLK-ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
	<p>Pendalaman & variasi metodologi, pengumpulan</p> <p><i>[Signature]</i> 31/10</p>

Formulir SPT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Proposal selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir SPT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :

Prof. Dr. Ir. Santoso, M. T. S. (.....)



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

**Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing/Co-Pembimbing
Seminar Proposal Tesis
(SPT - 02)**

Nama Mahasiswa : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Judul Tesis : Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Untuk Pengendalian Karbon Dioksida (CO₂) Udara Ambien Di Kawasan Industri Petrokimia
Program Studi : S2 Teknik Lingkungan FTSLK-ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

No./Hal	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing/Co-Pembimbing Tesis
1) 2) 3) 4)	Mekanisme penetapan ^{pengendalian} CO ₂ udara ambien sp. faktor: terkait dg faktor variabel paku Lihat gambar Kontrol didekati paku paku Paku & Hal sekap CO ₂ (paku?) F

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir SPT-02 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing

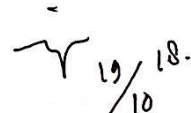
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

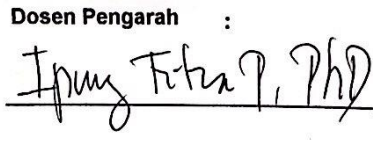
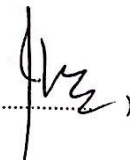
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Proposal Tesis
(SPT - 03)

Nama Mahasiswa : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Judul Tesis : Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Untuk Pengendalian Karbon Dioksida (CO₂)
Udara Ambien Di Kawasan Industri Petrokimia
Program Studi : S2 Teknik Lingkungan FTSLK-ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
1.	manis ada salah kehi
2.	Perhatikan jadwal penelitian
3.	testing model.
	 19/10

Formulir SPT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Proposal selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir SPT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :


 (.....)



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM PASCASARJANA
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387


**Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Proposal Tesis
(SPT - 03)**

Nama Mahasiswa : Aisyah Ahmad
NRP : 03211750010013
Judul Tesis : Model Penetapan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Untuk Pengendalian Karbon Dioksida (CO₂) Udara Ambien Di Kawasan Industri Petrokimia
Program Studi : S2 Teknik Lingkungan FTSLK-ITS
Bidang Studi : Magister Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

No./Hal	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Tesis
①	Halaman 33, Diperbaiki → Gambar 3.4 lebih untuk menjelaskan maksudnya.
②	Pemilihan lokasi diperjelas why maksud yg diijinkan daps tersebut. 19/10/2018 

Formulir SPT-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Proposal selesai
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir SPT-03 ke Sekretariat Pascasarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa pada saat asistensi dengan Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah :

Harman S. Tibah PhD. ()